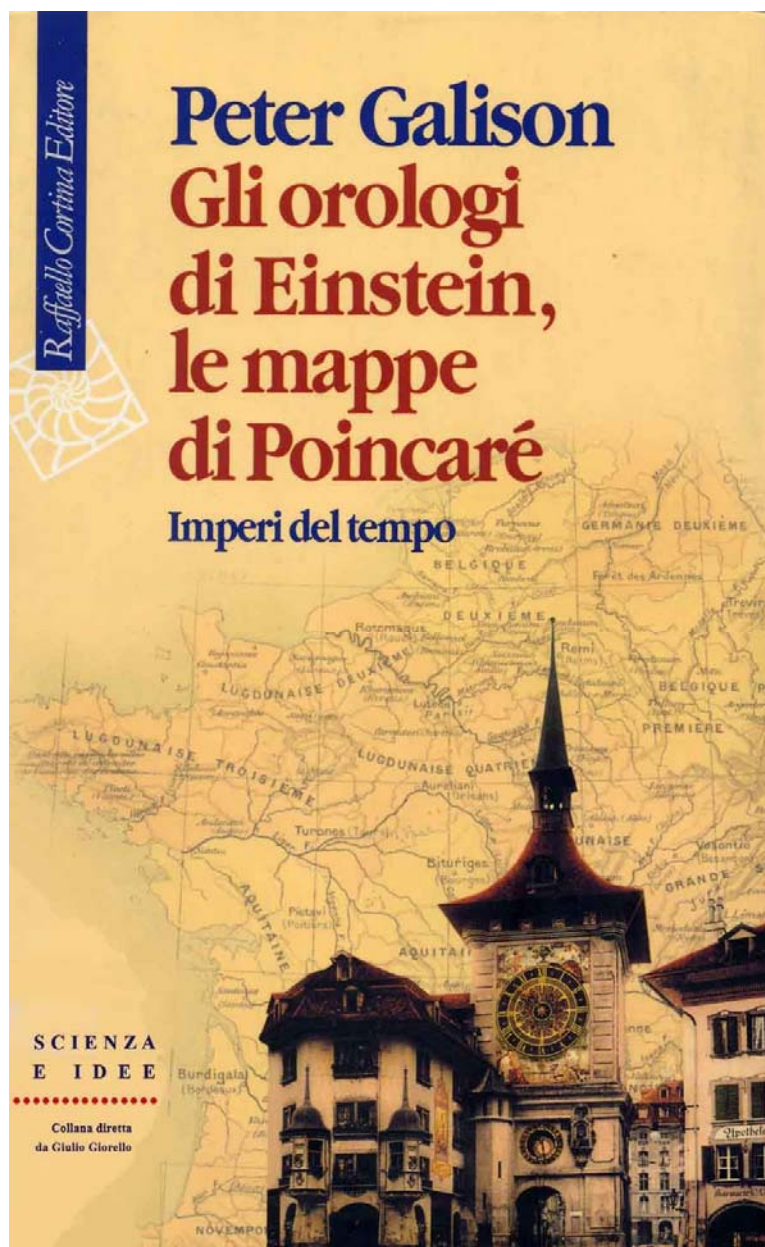


Peter Galison

Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré

Imperi del tempo



Raffaello Cortina Editore

www.raffaellocortina.it

Titolo originale

Einstein's Clocks, Poincaré's Maps. Empires of Time

© 2003 by Peter Galison

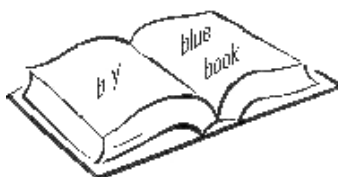
Traduzione di Marcello d'Agostino

© 2004 Raffaello Cortina Editore, Milano, via Rossini 4

Prima edizione: 2004



*A Sam e Sara,
che mi hanno insegnato il giusto uso del tempo*



RINGRAZIAMENTI

Ho tratto enorme beneficio da discussioni con molti studenti e colleghi. È un privilegio per me poter ringraziare, in modo particolare, David Bloor, Graham Burnett, Jimena Canales, Debbie Coen, Olivier Darrigol, Lorraine Daston, Arnold Davidson, James Gleick, Michael Gordin, Daniel Goroff, Gerald Holton, Michael Janssen, Bruno Latour, Robert Proctor, Hilary Putnam, Juergen Renn, Simon Schaffer, Marga Vicedo, Scott Walter e, specialmente, Caroline Jones, per la profondità dei loro commenti. Nel corso degli anni è stato un piacere anche apprendere da molte discussioni con studiosi dell'opera einsteiniana quali Martin Klein, Arthur Miller e John Stachel. Benché il libro non sia eccessivamente voluminoso, la preparazione del manoscritto e delle figure è stata lunga, e certo non sarebbe stata possibile senza l'aiuto dei ricercatori Doug Campbell, Evi Chantz, Robert Macdougall, Susanne Pickert, Sam Lipoff, Katia Scifo, Hanna Shell e Christine Zutz. Un ringraziamento particolare va alla mia redattrice della Norton, Angela von der Lippe, e al mio agente, Katinka Matson, per gli ottimi suggerimenti e il grande incoraggiamento. Ad Amy Johnson e Carol Rose va il merito di molti miglioramenti dal punto di vista editoriale. Infine, devo parecchio ai molti archivisti che mi hanno così gentilmente aiutato nelle mie ricerche - specialmente all'Observatoire de Paris, a gli Archives Nationales, agli Archives de la Ville de Paris, alla New York Public Library, ai National Archives degli Stati Uniti, ai National Archives del Canada, alla Bürger-bibliothek di Berna e allo Stadtarchiv di Berna.

Indice

RINGRAZIAMENTI	2
1 SINCRONIA	5
I TEMPI DI EINSTEIN	6
UN'OPALESCENZA CRITICA	14
ORDINE DEGLI ARGOMENTI	24
2 CARBONE, CAOS E CONVENZIONE	29
CARBONE	33
CAOS	38
CONVENZIONE	47
3 LA MAPPA ELETTRICA DEL MONDO	53
STANDARD DI SPAZIO E TEMPO	53
ORE, TRENI E TELEGRAFI	62
IL COMMERCIO DEL TEMPO	68
SOCIETÀ DI MISURA	72
DAL TEMPO ALLO SPAZIO	82
LA BATTAGLIA SULLA NEUTRALITÀ	93
4 LE MAPPE DI POINCARÉ	101
TEMPO, RAGIONE, NAZIONE	101
LA DECIMALIZZAZIONE DEL TEMPO	105
TEMPO E MAPPE	113
MISSIONE A QUITO	124
TEMPO ETEREO	129
UNA TRIPLA CONGIUNZIONE	137
5 GLI OROLOGI DI EINSTEIN	144
LA MATERIALIZZAZIONE DEL TEMPO	144
MACCHINE TEORICHE	148
VERITÀ BREVETTATE	158
GLI OROLOGI ANZITUTTO	172
RADIO EIFFEL	178
6 IL POSTO DEL TEMPO	193
SENZA LA MECCANICA	193
DUE MODERNISMI	199
GUARDANDO IN ALTO, GUARDANDO IN BASSO	211
NOTE	216
1. SINCRONIA	216
2. CARBONE, CAOS E CONVENZIONE	217
3. LA MAPPA ELETTRICA DEL MONDO	218

4. LE MAPPE DI POINCARÉ	221
5. GLI OROLOGI DI EINSTEIN	224
6. IL POSTO DEL TEMPO	229
BIBLIOGRAFIA	231

1

SINCRONIA

Il tempo, quello autentico, non sarebbe mai stato rivelato da semplici orologi - Newton ne era certo. Persino l'opera più perfetta di un mastro orologiaio non avrebbe potuto offrire che un pallido riflesso di quel tempo sommo e assoluto che non apparteneva al mondo umano, bensì al “*sensorium* di Dio”. Maree, pianeti, lune - ogni cosa che si muoveva o cambiava nell'Universo, lo faceva, a detta di Newton, sullo sfondo universale di un unico e costante flusso del tempo. Nel mondo elettrotecnico di Einstein non vi è più posto per quel “tic-tac udibile ovunque” che possiamo chiamare tempo, né vi è alcun modo sensato di definire il tempo se non in riferimento a un sistema determinato di orologi collegati. Il tempo scorre a velocità differenti per sistemi di orologi in moto l'uno rispetto all'altro: due eventi simultanei per un osservatore-orologio in quiete non lo sono per un altro in moto. I “tempi” sostituiscono il “tempo”. Ciò rappresentava un duro colpo per le solide fondamenta della fisica newtoniana, ed Einstein lo sapeva. Negli anni della maturità doveva interrompere le note autobiografiche per rivolgersi a Sir Isaac con un'intensità e una confidenza che quasi non tenevano conto dei secoli trascorsi; riflettendo sui concetti di spazio e tempo assoluti che la teoria della relatività aveva mandato in frantumi, Einstein scriveva: “Newton, perdonami [‘Newton, verzeih’ mir’]; tu hai trovato la sola via che, ai tuoi tempi, fosse percorribile per un uomo di altissimo intelletto e potere creativo”.¹

Alla base di questo radicale capovolgimento della concezione del tempo stava un'idea straordinaria, benché facile da formulare, che da allora è rimasta un caposaldo della fisica, della filosofia e della stessa tecnologia: *Per parlare del tempo, della simultaneità di due eventi distanti, bisogna sincronizzare gli orologi. Ma se si vuole sincronizzare due orologi, si deve cominciare con uno, inviare un segnale luminoso all'altro, e fare gli opportuni aggiustamenti per tenere conto del tempo impiegato dal segnale per giungere a destinazione.* Poteva mai esservi qualcosa di più semplice? Eppure, questa definizione procedurale del tempo permise di inserire l'ultimo tassello nel puzzle della relatività, cambiando per sempre il volto della fisica.

Il *presente volume* tratta della procedura di coordinazione degli orologi. Per quanto semplice a prima vista, tale argomento coniuga astrazione elevata e concretezza industriale. La materializzazione della simultaneità segnò, sulla soglia di un nuovo secolo, un mondo molto diverso dal nostro - un mondo in cui le più alte conquiste della fisica teorica andavano di pari passo con la fiera ambizione di ricoprire l'intero Pianeta di cavi che portassero ovunque i segnali del tempo, consentendo così di regolare treni e completare mappe. Era un mondo in cui ingegneri, filosofi e fisici

lavoravano fianco a fianco; in cui il sindaco di New York discuteva della convenzionalità del tempo, e l'Imperatore del Brasile attendeva sulla sponda dell'Oceano l'arrivo via telegrafo dell'ora europea; e in cui due dei maggiori scienziati del secolo, Albert Einstein e Henri Poincaré, ponevano la simultaneità al crocevia di fisica, filosofia e tecnologia.

I TEMPI DI EINSTEIN

L'articolo di Einstein del 1905 ("Elektrodynamik bewegter Körper") sulla relatività speciale o ristretta ha avuto un'eco così duratura da diventare il lavoro di fisica più noto del XX secolo, e lo smantellamento del concetto di tempo assoluto ne costituisce il tratto essenziale. L'argomentazione einsteiniana, per come viene solitamente intesa, si allontana radicalmente dal vecchio e "pratico" mondo della meccanica classica, al punto da essere considerata il modello di un pensiero rivoluzionario, profondamente distaccato da qualsiasi relazione materiale e intuitiva col mondo. Fisica e filosofica insieme, la riqualificazione einsteiniana della simultaneità ha finito per rappresentare lo spartiacque invalicabile che separa la fisica contemporanea dalle concezioni precedenti dello spazio e del tempo.

All'inizio dell'articolo sulla relatività, Einstein sottolineava come nell'allora diffusa interpretazione dell'elettrodinamica fosse presente un'asimmetria che non era riscontrabile nei fenomeni naturali. Intorno al 1905, quasi tutti i fisici accettavano l'assunto che le onde luminose - non diversamente da quelle acquatiche o da quelle sonore - dovessero propagarsi *in* qualcosa. Nel caso delle onde luminose (o degli oscillanti campi elettrici e magnetici che costituiscono la luce), questo qualcosa era l'omnipervasivo *etere*. Alla fine del XIX secolo, la maggior parte dei fisici riteneva l'etere una delle maggiori idee dell'epoca, e sperava che, una volta adeguatamente compreso, intuito e matematizzato, esso avrebbe permesso alla scienza di fornire una rappresentazione unificata di fenomeni apparentemente diversi, dal calore e dalla luce al magnetismo e all'elettricità. Tuttavia, proprio l'etere era all'origine dell'asimmetria respinta da Einstein.²

Stando all'usuale concezione dei fisici, scriveva Einstein, un magnete che si muove, avvicinandosi a un conduttore in quiete rispetto all'etere, produce una corrente indistinguibile da quella generata da un conduttore che si muove, avvicinandosi a un magnete in quiete rispetto all'etere. Ma poiché l'etere di per sé non poteva essere osservato, non vi era per Einstein che un unico fenomeno osservabile: l'avvicinarsi del magnete e del conduttore, che produceva in quest'ultimo una corrente (evidenziata dall'accensione di una lampadina). Nell'interpretazione allora diffusa, però, l'elettrodinamica (la teoria che includeva le equazioni di Maxwell - che descrivevano il comportamento dei campi elettrici e magnetici - e una legge di forza che prediceva come una particella carica si sarebbe mossa in tali campi) forniva due spiegazioni distinte dell'accaduto, a seconda di quale dei due corpi (il magnete o il conduttore) fosse in moto rispetto all'etere. Se era il conduttore a muoversi, mentre il magnete restava fermo rispetto all'etere, le equazioni di Maxwell

indicavano che l'elettricità nel conduttore era soggetta a una forza mentre attraversava il campo magnetico. Tale forza spingeva l'elettricità intorno al conduttore fino a causare l'accensione della lampadina. La spiegazione era, però, diversa se era il magnete a muoversi (e il conduttore a rimanere fermo). Quando il magnete si avvicinava al conduttore, il campo magnetico intorno a quest'ultimo diventava più intenso. Tale mutamento nel campo magnetico produceva (secondo le equazioni di Maxwell) un campo elettrico che spingeva l'elettricità intorno al conduttore in quiete e accendeva la lampadina. L'interpretazione standard dava così *due* spiegazioni distinte, a seconda che la scena fosse osservata dal punto di vista del magnete o da quello del conduttore.

Nella riformulazione einsteiniana del problema vi era *un* solo fenomeno: il conduttore e il magnete si avvicinavano l'uno all'altro, accendendo la lampadina. E *un* solo fenomeno osservabile richiedeva *una* sola spiegazione. L'intento di Einstein era appunto di fornire una simile spiegazione, che non facesse appello all'etere, ma considerasse i due sistemi di riferimento, quello in moto con il conduttore e quello in moto con il magnete, come due prospettive diverse del medesimo processo. In gioco, a detta di Einstein, vi era un principio fondamentale della fisica: quello di relatività.

Quasi tre secoli prima Galileo aveva sollevato questioni analoghe circa i sistemi di riferimento. Immaginando un osservatore chiuso nella stiva di una nave che solcasse il mare senza beccheggiare, Galileo mostrava come nessun esperimento meccanico condotto in un eventuale laboratorio situato sottocoperta avrebbe potuto rilevare il moto della nave: i pesci avrebbero continuato a nuotare nelle loro vasche proprio come avrebbero fatto se si fossero trovati sulla terraferma; le gocce d'acqua che cadevano sul pavimento non avrebbero deviato dalla loro traiettoria perpendicolare. Non vi era alcun modo di sfruttare qualsivoglia parte della meccanica per stabilire se una cabina fosse “realmente” in quiete o “realmente” in moto. E ciò, insisteva Galileo, costituiva un aspetto fondamentale di quella meccanica della caduta dei gravi che egli stesso aveva contribuito a creare.

Estendendo l'uso tradizionalmente fatto in meccanica del principio di relatività, nel suo articolo del 1905 Einstein elevò la relatività al rango di postulato, secondo il quale i processi fisici sono indipendenti dai sistemi di riferimento in moto uniforme in cui hanno luogo. Ma il principio di relatività avrebbe dovuto includere non soltanto la meccanica della caduta delle gocce d'acqua, dei rimbalzi delle palle o degli scatti delle molle, bensì anche la miriade di effetti dell'elettricità, del magnetismo e della luce.

Il postulato di relatività (“non vi è modo di dire quale sistema di riferimento non accelerato sia ‘davvero’ in quiete”) doveva dare origine a un'assunzione ulteriore destinata a rivelarsi ancor più sorprendente. Einstein osservò che dagli esperimenti non era mai risultato che la luce viaggiasse (nel vuoto) a una velocità diversa da 300.000 chilometri al secondo. *Postulò* allora che fosse sempre così. La luce, sosteneva Einstein, viaggia per noi sempre alla stessa velocità misurata - 300.000 chilometri al secondo - *indipendentemente dalla velocità del corpo che la emette*. Ciò è in contrasto con il comportamento degli oggetti di cui facciamo quotidianamente esperienza. Pensiamo a un treno in arrivo da cui il conducente lancia un pacco postale verso la stazione; per noi è ovvio che una persona in piedi sulla banchina della stazione veda arrivare il pacco alla velocità del treno *più* la velocità con cui il conducente

abituamente lancia la posta. Ma con la luce, insisteva Einstein, le cose vanno diversamente: se state a una distanza fissa da me e sollevate una lanterna, io vedrò la luce viaggiare verso di me alla velocità di 300.000 chilometri al secondo. Qualora sfrecciaste verso di me su un treno, che viaggiasse addirittura a 150.000 chilometri al secondo (la metà della velocità della luce), io vedrei sempre la luce della vostra lanterna venire verso di me a 300.000 chilometri al secondo. In accordo con il secondo postulato di Einstein, la velocità della luce non dipende dalla velocità del corpo che la emette.

Entrambi questi postulati avrebbero potuto sembrare ragionevoli (almeno in parte) ai contemporanei di Einstein. Il principio di relatività circolava in meccanica sin dai tempi di Galileo, e da alcuni anni Poincaré (tra gli altri) ne aveva analizzato problemi e prospettive in elettrodinamica.³ Inoltre, se la luce non era che un'eccitazione di onde in un etere rigido e onnipervasivo, era plausibile assumere che, in un sistema di riferimento in cui l'etere era in quiete, la velocità della luce non dipendesse dalla velocità della sorgente che la emetteva. Dopo tutto, nel caso di velocità ragionevoli della sorgente, la velocità del suono non dipende dalla velocità del corpo che lo emette: una volta partita, un'onda sonora si muove attraverso l'aria a una velocità fissa.

Ma come potevano essere riconciliati i due postulati di Einstein? Supponiamo che nel sistema di riferimento in quiete dell'etere si dia un lampo di luce. A un osservatore *in moto* rispetto all'etere, la velocità della luce non dovrebbe apparire maggiore o minore di quella normale a seconda che l'osservatore si avvicini o si allontani dalla luce stessa? Qualora fosse osservabile una differenza nella velocità della luce, ciò non violerebbe il principio di relatività, dal momento che tale osservazione indicherebbe se una persona sia davvero in moto rispetto all'etere? Nessuna differenza del genere poteva, però, essere misurata. Neppure i più precisi esperimenti ottici erano in grado di rilevare il ben che minimo accenno di moto attraverso l'etere.

La diagnosi di Einstein fu che non si era prestata "sufficiente considerazione" ai concetti fondamentali della fisica. A suo dire, la piena comprensione di tali concetti avrebbe eliminato l'apparente contraddizione tra il principio di relatività e il principio della costanza della velocità della luce. Propose così di ricominciare daccapo il ragionamento fisico, interrogandosi su cosa fossero lunghezza, tempo e, soprattutto, simultaneità. Chiunque sapeva che ottica ed elettromagnetismo dipendevano da misurazioni di tempo, lunghezza e simultaneità, ma, a detta di Einstein, nessun fisico aveva dedicato sufficiente attenzione critica alle procedure base mediante cui tali quantità fondamentali erano determinate. Come potevano regoli e orologi dare coordinate spazio-temporali non ambigue per i fenomeni del mondo? Einstein giudicava inadeguata la concezione dominante, per cui i fisici si sarebbero dovuti anzitutto occupare del complesso delle forze che tengono insieme la materia. Al primo posto doveva, invece, esservi la *cinematica*, ossia lo studio del comportamento di regoli e orologi in moto costante, non soggetto a forze. Solo allora avrebbero potuto essere affrontati con profitto i problemi della *dinamica* (per esempio, il comportamento degli elettroni in presenza di forze elettriche e magnetiche).

Einstein era convinto che soltanto risolvendo le difficoltà connesse alla misurazione dello spazio e del tempo i fisici avrebbero guadagnato la coerenza tanto cercata. Per

eseguire misurazioni spaziali è necessario un sistema di coordinate - nella prospettiva einsteiniana, un sistema di comuni regoli rigidi. Per esempio: questo punto si trova a 60 centimetri di distanza sull'asse delle x , a 91 centimetri sull'asse delle y e a quattro metri e 26 centimetri sull'asse delle z . Fin qui tutto bene. La parte più sorprendente era quella successiva, dedicata a una nuova analisi del concetto di *tempo*, che secondo i suoi contemporanei, come il matematico e fisico Hermann Minkowski, costituiva il nucleo dell'argomentazione di Einstein.⁴ Nelle parole di quest'ultimo: "Noi dobbiamo considerare che tutti i giudizi in cui interviene il tempo sono giudizi su *eventi simultanei*. Se io, per esempio, dico: 'Quel treno giunge qui alle ore 7, ciò equivale a dire in pratica: Il posizionamento della lancetta del mio orologio sul 7 e l'arrivo del treno sono eventi simultanei'".⁵ Per quanto riguarda la simultaneità *in un punto* non ci sono problemi: se un evento che accade nelle immediate vicinanze del mio orologio (per esempio, la locomotiva del treno che si ferma accanto a me) ha luogo proprio mentre la lancetta del mio orologio arriva sul 7, allora questi due eventi sono ovviamente simultanei. La difficoltà, insisteva Einstein, nasce quando dobbiamo correlare eventi separati nello spazio. Che cosa vuol dire che due eventi *distanti* siano simultanei? Come posso confrontare la lettura del mio orologio *qui* con l'arrivo del treno alle 7 *in un'altra stazione*?

Per Newton il tempo aveva una componente assoluta; non era né poteva essere solo una questione di "sincronizzazione" degli orologi. La richiesta da parte di Einstein di una *procedura* che conferisse significato al termine "simultaneo" sanciva di fatto il divorzio dalla dottrina del tempo assoluto. Con un ragionamento dal registro in apparenza filosofico, Einstein stabiliva tale procedura definitoria tramite un *esperimento mentale* che, per lungo tempo, è parso lontano dalla scena dei laboratori e dell'industria. In che modo, si chiedeva, possiamo sincronizzare orologi distanti? "Noi potremmo, certo, accontentarci di determinazioni di tempo effettuate nel modo seguente: un osservatore, munito di orologio e situato nell'origine delle coordinate, associa a ogni segnale luminoso [...] la corrispondente posizione delle lancette sull'orologio."⁶ Ahimè, notava Einstein, poiché la luce viaggia a velocità finita, tale procedura non è indipendente dalla posizione dell'orologio principale. Supponiamo che io sia vicino ad A e lontano da B, mentre voi siete esattamente a metà strada tra A e B:

A — io ————— voi ————— B

Sia A sia B emettono segnali luminosi verso di me, ed entrambi questi segnali arrivano di fronte al mio naso nel medesimo istante. Posso concluderne che sono stati inviati simultaneamente? No, ovviamente. È chiaro che il segnale di B ha dovuto percorrere, per raggiungermi, una distanza molto maggiore di quella percorsa dal segnale di A, e tuttavia sono arrivati nel medesimo istante. Il segnale di B deve essere stato emesso prima di quello di A. Supponiamo che io sia testardo e che insista a dire che A e B *devono* avere emesso i loro segnali simultaneamente; dopo tutto, li ho ricevuti nello stesso istante. Ma eccomi subito nei guai, come potete testimoniare voi stessi: se stavate esattamente a metà strada tra A e B, avrete ricevuto il segnale di B prima di quello di A. Per evitare ambiguità, Einstein non voleva che la simultaneità dei due eventi "A emette un segnale luminoso" e "B emette un segnale luminoso" dipendesse dalla posizione in cui si trovava l'osservatore. La "ricezione simultanea di

segnali da parte mia” quale procedura per definire la simultaneità si rivela dunque un disastro, un imbroglio epistemico incapace di fornire un resoconto coerente.

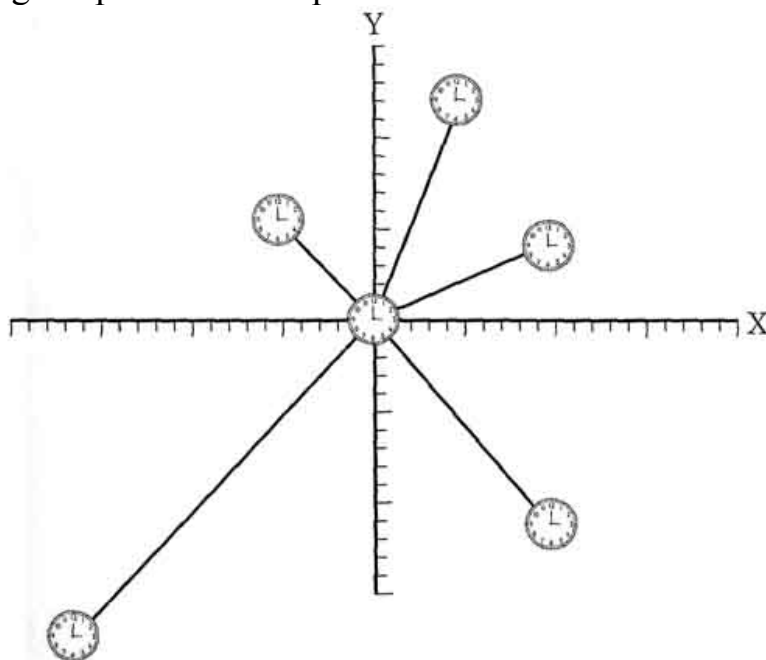


Figura 1.1 Coordinazione mediante un orologio centrale. Nel suo articolo del 1905 sulla relatività, Einstein introdusse - e respinse - uno schema di coordinazione degli orologi in cui l’orologio centrale inviava un segnale a tutti gli altri orologi; questi orologi secondari regolavano la loro ora quando il segnale arrivava. Per esempio, se l’orologio centrale mandava il suo segnale orario alle 15.00, ciascun orologio secondario sincronizzava le sue lancette sulle 15.00 quando arrivava l’impulso. L’obiezione di Einstein era che se gli orologi secondari si trovavano a distanze diverse dal centro, quelli più vicini si sarebbero regolati sul segnale prima di quelli più lontani. La simultaneità di due orologi finiva così col dipendere (in maniera inaccettabile per Einstein) da una circostanza arbitraria: il luogo in cui si trovava l’orologio “centrale”.

Smascherato tale imbroglio, il giovane Einstein aveva proposto un sistema migliore: supponiamo che un osservatore situato nell’origine A invii, quando il suo orologio segna le 12 in punto, un segnale luminoso verso B, che si trova alla distanza d da A; il segnale luminoso viene riflesso in B e torna ad A. B regola allora il suo orologio su mezzogiorno più la metà del tempo che occorre alla luce per andare e tornare. Diciamo due secondi? In tal caso B regola il proprio orologio su mezzogiorno e un secondo non appena riceve il segnale.

Assumendo che la luce viaggi alla stessa velocità in una direzione e nell’altra, tale procedimento fa sì che B regoli il proprio orologio su mezzogiorno più la distanza tra i due orologi divisa per la velocità della luce. Quest’ultima è di 300.000 chilometri al secondo. Così, se B si trova a 600.000 chilometri di distanza da A, quando B riceve il segnale regola il proprio orologio su 12.00.02, ovvero su mezzogiorno più due secondi. Se B si trovasse a 900.000 chilometri di distanza, lo regolerebbe su mezzogiorno e tre secondi. Procedendo in tal modo, A, B e chiunque altro stesse partecipando a questo esercizio di coordinazione, saranno tutti d’accordo sul fatto che i loro orologi sono sincronizzati. Se ora facciamo muovere l’origine, la situazione non cambia: tutti gli orologi sono regolati in maniera da tenere conto del tempo impiegato da un segnale luminoso per raggiungere la loro postazione. Einstein era soddisfatto: nessun “orologio maestro” privilegiato, e una definizione non ambigua di simultaneità.

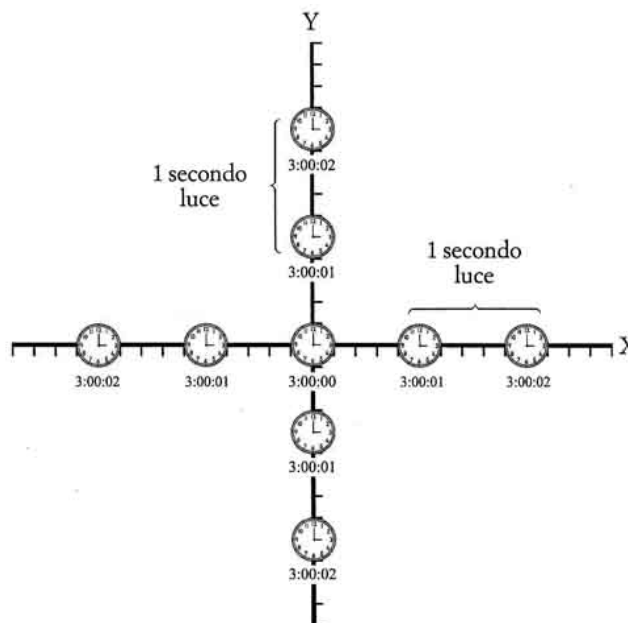


Figura 1.2 La coordinazione degli orologi di Einstein. Einstein riteneva che una soluzione migliore e non arbitraria alla questione della simultaneità fosse la seguente: regolate gli orologi non sull'ora in cui il segnale è stato inviato, ma sull'ora dell'orologio iniziale più il tempo impiegato dal segnale per percorrere la distanza dall'orologio iniziale all'orologio che deve essere sincronizzato. Più specificamente, egli sosteneva che si dovesse inviare un segnale di andata e ritorno dall'orologio iniziale a quello distante e poi regolare l'orologio distante sull'ora dell'orologio iniziale più la metà del tempo impiegato per il viaggio di andata e ritorno. La posizione dell'orologio "centrale" non faceva così alcuna differenza - si poteva avviare la procedura in un punto qualsiasi e stabilire la simultaneità in maniera non ambigua.

Grazie a tale protocollo di coordinazione degli orologi egli aveva risolto il proprio rompicapo. Applicando scrupolosamente la semplice procedura di coordinazione e i suoi due principi di partenza, era in grado di mostrare come due eventi che erano simultanei in un sistema di riferimento non lo fossero in un altro. Considerate che la misurazione della lunghezza di un oggetto in moto dipende sempre da misurazioni simultanee della posizione di due punti (se volete misurare la lunghezza di un autobus in moto, occorre che misuriate la posizione delle sue estremità anteriore e posteriore nello stesso istante). Poiché la determinazione della lunghezza richiede la misurazione simultanea delle estremità anteriore e posteriore, la relatività della simultaneità implica la relatività della lunghezza - nel mio sistema di riferimento la lunghezza di un'asta di un metro che si allontana da me risulterà minore di un metro.

Stupefacente in sé e per sé, la relatività di tempi e lunghezze aveva ulteriori conseguenze, alcune più immediate di altre. Poiché la velocità è definita come la distanza coperta in un dato tempo, la composizione del moto degli oggetti doveva essere riconsiderata nella teoria di Einstein. Una persona che corre in un treno alla velocità di $1/2$ della velocità della luce (rispetto al treno), mentre il treno va a tutta birra a $3/4$ della velocità della luce, si muoverebbe, stando alla fisica newtoniana, a una volta e $1/4$ la velocità della luce rispetto al terreno. Ma, seguendo rigorosamente la definizione di tempo e di simultaneità, Einstein mostrò che l'effettiva velocità composta doveva essere minore - anzi, *sempre* minore della velocità della luce, indipendentemente dalla velocità del treno o del corridore sul treno. E non era tutto: Einstein riuscì a spiegare alcuni esperimenti ottici che in precedenza avevano

rappresentato dei veri rompicapo e a fare nuove predizioni circa il moto degli elettroni. Infine, le sue assunzioni di partenza sulla velocità della luce e sulla relatività, combinate con la sua procedura di coordinazione degli orologi, gli consentirono di mostrare che del conduttore, del magnete e della lampadina non vi erano *due distinte* spiegazioni, bensì una soltanto: un campo magnetico in un sistema di riferimento era un campo elettrico in un altro. La differenza era una differenza di prospettiva - la stessa scena era vista da sistemi di riferimento diversi. E tutto senza neppure un soffio d'etere. Poco dopo Einstein fu in grado di usare la relatività per formulare la più celebre delle equazioni scientifiche, $E = mc^2$. Aveva trovato che massa ed energia erano interscambiabili, e le conseguenze di tale scoperta, che sembravano inizialmente confinate a esperimenti remoti di difficile esecuzione, dovevano nel volgere di pochi anni trasformare profondamente il settore politico-militare.

Dietro la relatività di Einstein vi è molto di più della coordinazione degli orologi. Senza esagerare, potremmo dire che la padronanza dei fenomeni elettrici e magnetici fu *la* grande impresa della fisica del XIX secolo. Dal punto di vista teorico, il fisico di Cambridge James Clerk Maxwell aveva mostrato come la luce non fosse costituita d'altro che da onde elettriche, unificando così elettrodinamica e ottica. Dal punto di vista pratico, le dinamo avevano portato l'elettricità nelle città, i tram elettrici avevano modificato i paesaggi urbani e i telegrafi avevano trasformato la gestione dei mercati, delle informazioni e della guerra. Alla fine del secolo i fisici erano in grado di eseguire misurazioni precise della luce - elaborando sofisticati esperimenti per rilevare l'elusivo etere; perfezionavano le loro ricerche sull'elettricità e il magnetismo per analizzare a fondo il comportamento dell'elettrone, da poco entrato a far parte dell'universo fisico. Tutto ciò spinse numerosi fisici illustri (non solo Einstein e Poincaré) a considerare l'elettrodinamica dei corpi in movimento come uno dei problemi più difficili, fondamentali e sottili dell'agenda scientifica del tempo.⁷

Stando al resoconto dello stesso Einstein, la consapevolezza che la sincronizzazione degli orologi fosse necessaria per definire la simultaneità fu il passo concettuale finale che lo indusse a chiudere la sua lunga caccia, e proprio *questo*, la coordinazione degli orologi, è l'argomento del *presente volume*. Einstein riteneva che la modificazione del concetto di tempo costituisse l'aspetto più sorprendente della teoria della relatività. Ma tale giudizio non fu immediatamente condiviso, neppure da coloro che si reputavano suoi sostenitori. Alcuni abbracciarono la relatività dopo che gli esperimenti sulla deflessione degli elettroni sembrarono sostenerla. Altri usarono la teoria solo quando fu riformulata da fisici e matematici in termini più familiari e meno enfatici circa la relatività del tempo. Intorno al 1910, dopo incontri non privi di tensione, scambi epistolari, articoli e repliche, un numero crescente di colleghi di Einstein indicava nella revisione del concetto di tempo la caratteristica saliente della relatività. Negli anni che seguirono divenne canonico, sia per i filosofi sia per i fisici, salutare la sincronizzazione degli orologi come un trionfo in entrambe le discipline, un faro del pensiero contemporaneo.

I fisici più giovani, incluso Werner Heisenberg, cominciarono negli anni Venti a modellare la nuova fisica quantistica su quella che ritenevano fosse la posizione di Einstein contro i concetti (come quello di tempo assoluto) che non rinviavano ad alcunché di osservabile. Heisenberg, in particolare, ammirava l'insistenza di Einstein

sul fatto che la simultaneità si riferisse esclusivamente a orologi coordinati da una procedura ben definita e osservabile. Insieme con i suoi colleghi enfatizzò ulteriormente l'istanza dell'osservabilità: per parlare della posizione di un elettrone, occorre prima mostrare la procedura tramite cui quella posizione può essere osservata; per dire qualcosa della sua quantità di moto, occorre esibire un esperimento in grado di misurarla. Fino alle estreme conseguenze: se non è possibile, in linea di principio, misurare posizione e quantità di moto simultaneamente, ciò significa che posizione e quantità di moto non esistono nello stesso istante. Come è noto, Einstein non vide con favore tale conclusione, nonostante gli sforzi dei fisici quantistici affinché riconoscesse che essi non avevano fatto altro che estendere agli atomi la sua severa critica dei concetti di tempo e di simultaneità. Era ormai troppo tardi perché Einstein potesse rinchiudere il genio relativistico nella bottiglia da cui era uscito; ma egli era preoccupato che i nuovi fisici spingessero troppo oltre la sua insistenza sulle procedure osservabili e sottovalutassero il ruolo formativo delle teorie nello stabilire ciò che può essere visto. Per dirla ironicamente con lo stesso Einstein: "una buona battuta non dovrebbe essere ripetuta troppo spesso".⁸

Ma la battuta fece proseliti. L'indagine del concetto "intuitivo" di tempo nell'infanzia divenne, grazie allo psicologo Jean Piaget, un'importante area di ricerca. L'einsteiniana coordinazione del tempo cominciò a essere assunta come un modello - e ben presto *il* modello - per una nuova concezione scientifica del mondo. Riunitisi nella capitale austriaca per dar vita a un movimento filosofico antimetafisico, i fisici, sociologi e filosofi del Circolo di Vienna videro nella simultaneità degli orologi sincronizzati il paradigma di un autentico, verificabile concetto scientifico. Altrove in Europa e negli Stati Uniti, filosofi (e fisici) al passo con i tempi furono concordi nel salutare l'idea di simultaneità basata sullo scambio di segnali come un esempio di conoscenza ben fondata, del tutto impermeabile all'oziosa speculazione metafisica.⁹ Per Willard Van Orman Quine, uno dei più influenti filosofi americani del XX secolo, *l'intera* conoscenza era, in ultima analisi, rivedibile (la stessa logica avrebbe potuto prima o poi richiedere una modifica). Tuttavia, nel passare in rassegna il sistema complessivo del pensiero scientifico, Quine scelse la definizione einsteiniana di simultaneità mediante orologi e segnali luminosi come la più duratura delle conquiste, indicando nel concetto di tempo di Einstein ciò che "dovremmo essere più inclini a preservare quando in futuro saremo chiamati a rivedere [...] la scienza".¹⁰ Per un secolo in cui la filosofia aveva assistito a profondi cambiamenti nella conoscenza, maturando una forte ostilità nei confronti di qualunque pretesa verità eterna e immutabile, non poteva esservi elogio migliore.

Ovviamente, non tutti ammiravano la relatività del tempo. Vi era chi non le risparmiava ironia e chi si affannava a salvare la fisica dal suo influsso nefasto. E tuttavia, negli anni Venti, la stragrande maggioranza dei fisici e dei filosofi riteneva che la domanda di Einstein "Che cos'è il tempo?" costituisse un modello standard per i concetti scientifici, mirando a qualcosa di più finito, di più umanamente accessibile, del tempo metafisico e assoluto di Newton. Lo stesso Einstein confidava di aver tratto la spada filosofica, così efficacemente impugnata contro il tempo assoluto, dall'opera critica dello scozzese David Hume, che aveva mostrato come l'enunciato "A causa B" non significasse nient'altro che la sequenza regolarmente osservata "A, poi B".

Decisiva per Einstein fu inoltre l'analisi della genesi empirica dei concetti scientifici condotta dal fisico, filosofo e psicologo viennese Ernst Mach. Nelle sue ricostruzioni (talvolta eccessive) di quelle che considerava oziose astrazioni, Mach additava come casi esemplari le newtoniane nozioni "medioevali" di spazio e di tempo assoluti. Infine, Einstein studiò il tempo servendosi del microscopio offertogli dalle indagini di altri scienziati, in particolare da quelle di Hendrik A. Lorentz e Poincaré. Tutte queste linee di ragionamento filosofico - insieme ad altre che incontreremo in seguito - entreranno a far parte della nostra ricostruzione del tempo e degli orologi. Tuttavia, una storia puramente intellettuale finirebbe per lasciare Einstein in balia di una nuvola di astrazioni: il filosofo-scienziato che brandiva i suoi esperimenti mentali contro il polveroso dogma newtoniano del tempo assoluto; che aveva sconcertato un quadro tecnico-scientifico troppo sofisticato per porre domande basilari come quelle sul tempo e sulla simultaneità. Possiamo davvero accontentarci di resoconti così cerebrali?

UN'OPALESCENZA CRITICA

Einstein e Poincaré guardarono spesso al loro lavoro come se fosse originato interamente al di fuori del mondo materiale. Si pensi, per esempio, al discorso pronunciato da Einstein, nell'ottobre 1933, in occasione di un'imponente manifestazione a sostegno dei rifugiati e di coloro che erano stati rimossi dai loro incarichi. Scienziati, politici e gente comune affollarono la Royal Albert Hall di Londra. Poiché dei manifestanti ostili minacciavano di creare tumulti, un migliaio di studenti intervenne formando un servizio d'ordine. Einstein ammonì tutti dell'imminenza della guerra, dell'odio e della violenza che gravavano sull'Europa. Esortò il mondo a resistere alla spinta verso la schiavitù e l'oppressione, e implorò i governi di arrestare l'incombente collasso economico. Ma, all'improvviso, il filo politico del suo discorso si spezzò. Fu come se, di colpo, volesse ritirarsi dall'analisi della crisi mondiale, come se le calamità degli eventi lo avessero provato oltre i propri limiti. In un registro del tutto diverso, cominciò a riflettere sulla solitudine, sulla creatività e, con grande pacatezza, sui momenti trascorsi perso nei propri pensieri astratti, circondato unicamente dalla monotonia produttiva della campagna. "Vi sono occupazioni, persino nella società odierna, che richiedono una vita isolata e non comportano un grande sforzo fisico o intellettuale. Sto pensando a lavori come quello del guardiano del faro. "[11](#)

La solitudine, insisteva Einstein, era perfetta per un giovane scienziato impegnato in problemi filosofici e matematici. Siamo così tentati di leggere in quest'ottica i suoi stessi anni giovanili: lo vediamo nell'Ufficio brevetti di Berna, dove *egli* si guadagnava da vivere, non diversamente che in un remoto faro ai confini dell'oceano. Coerentemente con l'immagine einsteiniana del giardino fonte di contemplazioni ultraterrene, abbiamo fatto di Einstein *il* filosofo-scienziato capace di ignorare la confusione imperante nell'Ufficio brevetti e i rumorosi schiamazzi provenienti dalla strada per immergersi nel riesame dei fondamenti della propria disciplina e rovesciare

lo spazio e il tempo assoluti di Newton. Da Newton a Einstein: non è difficile rappresentare la trasformazione subita dalla fisica come un confronto di teorie che fluttuano al di sopra del mondo delle macchine, delle invenzioni e dei brevetti. Lo stesso Einstein contribuì a creare un'immagine del genere, sottolineando in più occasioni il ruolo svolto dalla pura speculazione nella genesi della relatività. "L'essenziale, nell'esistenza di un uomo come me, è costituito soprattutto da *ciò* che egli pensa e da *come* egli pensa, non già da ciò che egli fa o subisce."¹²

Siamo ormai abituati al cliché di un Einstein ultraterreno, oracolare, in comunicazione con gli spiriti della fisica; di un Einstein che si pronuncia sulla libertà di Dio nella creazione dell'Universo; che cestina le richieste di brevetti considerandole fastidiose incombenze tra lui e la filosofia della natura; che fa appello a un mondo di puri esperimenti mentali, popolato da orologi immaginari e treni fantastici. Roland Barthes ha indagato questa figura fittizia nel suo "Il cervello di Einstein", in cui lo scienziato appare ridotto a mera materia cerebrale, una pura icona del pensiero, mago e macchina insieme, senza corpo, psicologia o esistenza sociale.¹³

Barthes avrebbe dovuto sapere che tra gli scienziati che immaginiamo fluttuare al di sopra del mondo materiale vi era anche Henri Poincaré, lo straordinario matematico, filosofo e fisico francese che elaborò, del tutto indipendentemente da Einstein, una sofisticata teoria fisica-matematica che incorporava il principio di relatività. In saggi di rara eleganza, Poincaré presentò i suoi risultati al più ampio mondo della cultura, indagando al contempo limiti e conquiste della fisica classica e di quella a lui contemporanea. Al pari di Einstein, amava dare di sé l'immagine di una mente libera. In uno dei più famosi resoconti che un uomo di scienza abbia mai scritto circa il proprio lavoro creativo, Poincaré doveva ripercorrere i passi che lo avevano condotto a formulare la teoria di un nuovo insieme di funzioni di grande importanza per svariati settori della matematica:

Da quindici giorni mi sforzavo di dimostrare che non poteva esistere nessuna funzione analoga a quelle che ho in seguito denominato funzioni fuchsiane. A quel tempo ero molto ignorante; ogni giorno rimanevo una o due ore seduto a tavolino, provavo un gran numero di combinazioni e non arrivavo a nessun risultato. Una sera, contrariamente alle mie abitudini, bevvi una tazza di caffè nero e non riuscii a prendere sonno: le idee scaturivano in una ridda, le sentivo quasi cozzare le une con le altre, fino a quando due di esse non si agganciavano, per così dire, a formare una combinazione stabile. [...] Non mi restava altro da fare che mettere per iscritto i risultati, un lavoro che mi richiese solo poche ore.¹⁴

Non solo nella descrizione dell'invenzione di nuove funzioni, ma anche nei suoi mirabili saggi filosofico-scientifici Poincaré analizzava fisica e filosofia ricorrendo a mondi metaforici slegati dal qui e ora e lasciando vagare scienziati immaginari in idealizzati universi alternativi: "Si trasporti un uomo su un Pianeta il cui cielo sia sempre coperto da una coltre di nubi così spessa che non possa mai scorgere altri astri; vivrà su questo Pianeta come se fosse isolato nello spazio. Un tale uomo potrà, tuttavia, rendersi conto che il Pianeta ruota...".¹⁵ Il viaggiatore spaziale di Poincaré avrebbe potuto rilevare la rotazione o mostrando che il Pianeta esibiva un rigonfiamento attorno all'equatore o dimostrando che un pendolo libero di oscillare

ruotava in modo graduale. Come sempre, Poincaré si serviva di un mondo fittizio per sollevare un problema fisico-filosofico reale.

È certo possibile - e addirittura produttivo - leggere Einstein e Poincaré come pensatori astratti, dediti a tracciare sottili distinzioni filosofiche tra mondi ipotetici e metafore fantasiose. Forse Poincaré aveva in mente un mondo del genere quando parlava di variazioni di temperatura così forti da alterare considerevolmente la lunghezza di oggetti che si muovono in su o in giù. Gli stessi attacchi di Einstein e Poincaré contro la simultaneità assoluta di Newton potrebbero essere interpretati come esercizi di natura metaforica su treni immaginari, orologi fantastici e telegrafi astratti.

Ma torniamo a Einstein e al suo problema. Invocando quello che ai più potrebbe apparire un bizzarro esperimento mentale, egli voleva sapere cosa significasse dire che un treno è arrivato in stazione alle 7 in punto. Per molto tempo ho pensato che questo non fosse che l'ennesimo esempio del tipico atteggiamento di Einstein (da lui stesso descritto), consistente nel formulare domande che solitamente vengono poste "solo nella prima infanzia", ma che egli, non a caso, poneva quando era "già adulto".¹⁶ Si trattava dell'ingenuità del genio isolato? Interpretati in tal modo, gli indovinelli su spazio e tempo appaiono così elementari da stridere con l'immagine che gli scienziati professionisti hanno del proprio lavoro. Ma davvero il problema della simultaneità era così infantile da non riguardare il pensiero maturo? Nessun altro si era *di fatto* chiesto, nel 1904-1905, che cosa significasse per un determinato osservatore dire che un osservatore distante stava guardando un treno arrivare alle 7 in punto? L'idea di definire la simultaneità a distanza mediante lo scambio di segnali elettrici era veramente un puro costrutto filosofico, avulso dal mondo d'inizio secolo?

La relatività era lontana dai miei pensieri quando, non molto tempo fa, in una stazione ferroviaria dell'Europa settentrionale, mi sono trovato a guardare distrattamente gli eleganti orologi che fiancheggiavano la banchina. Segnavano tutti esattamente la stessa ora e gli stessi minuti. Curioso. Davvero dei buoni orologi. In seguito notai che, per quanto potevo vedere, persino il movimento *scandito* della lancetta dei secondi procedeva in perfetta sincronia. Questi orologi non solo funzionano bene, pensai, ma sono coordinati. Forse lo stesso Einstein aveva avuto davanti agli occhi orologi del genere quando era alle prese con il suo articolo del 1905 e cercava di comprendere il significato della simultaneità a distanza. In effetti, di fronte all'Ufficio brevetti vi era la vecchia stazione di Berna, all'interno della quale e sulla cui facciata si poteva ammirare una spettacolare serie di orologi coordinati.

Le origini degli orologi coordinati, come gran parte del nostro passato tecnologico, restano oscure. Quali delle molte componenti di un sistema tecnologico riteniamo che sia la caratteristica che lo definisce: l'uso dell'elettricità? Un sistema di numerosi orologi collegati? Il controllo continuo di orologi distanti tra loro? Comunque stiano le cose, già dagli anni Trenta e Quaranta dell'Ottocento i britannici Charles Wheatstone e Alexander Bain prima, e lo svizzero Mathias Hipp dopo, insieme con moltissimi altri inventori europei e americani, avevano cominciato a costruire sistemi di distribuzione elettrica per collegare numerosi orologi assai distanti tra loro a un singolo orologio centrale, chiamato nei rispettivi linguaggi "*horloge-mère*" (orologio madre), "*primäre Normaluhr*" (orologio standard primario) e "*master clock*" (orologio

maestro).¹⁷ In Germania, Lipsia fu la prima città a installare sistemi distribuiti di misurazione del tempo controllati elettricamente, seguita da Francoforte nel 1859; Hipp (allora direttore dell'azienda dei telegrafi) si fece promotore dell'iniziativa svizzera nel palazzo federale di Berna, dove un centinaio di quadranti di orologi iniziarono a marciare insieme nel 1890. La coordinazione degli orologi presto raggiunse Ginevra, Basilea, Neuchâtel e Zurigo, insieme con le loro linee ferroviarie.¹⁸



Figura 1.3 La stazione ferroviaria di Berna (1860-1865 circa). Uno dei primi edifici a Berna a essere fornito dei nuovi orologi coordinati. Due orologi sono (a malapena) visibili sopra le arcate ovali sul lato aperto della stazione. *Fonte:* Copyright Bürgerbibliothek Bern, neg. 12572.

Einstein, dunque, non solo era circondato da orologi coordinati, ma si trovava in uno dei centri più importanti per l'invenzione, la produzione e il brevetto di tale nascente tecnologia. Tra i maggiori scienziati che s'interessavano delle leggi fisiche fondamentali dell'elettromagnetismo e della natura filosofica del tempo vi era forse qualcun altro coinvolto in questa vasta impresa di sincronizzazione degli orologi? Almeno uno, sicuramente.

Quasi sette anni prima che il ventiseienne impiegato all'Ufficio brevetti di Berna ridefinisse la simultaneità nel suo articolo del 1905 sulla relatività, Henri Poincaré aveva avanzato idee sorprendentemente simili. Uomo di grande cultura, Poincaré era universalmente riconosciuto come uno dei maggiori matematici dell'epoca per aver inventato gran parte della topologia, schiuso una nuova era della meccanica celeste e contribuito potentemente all'elettrodinamica dei corpi in movimento. Gli ingegneri lodavano i suoi scritti sulla telegrafia senza fili. Il vasto pubblico divorava i suoi libri sulla filosofia del convenzionalismo, sul valore della scienza e sulla difesa della *science pour la science*.

Uno dei saggi per noi più significativi pubblicati da Poincaré apparve nel gennaio 1898 in una rivista filosofica, la *Revue de Métaphysique et de Morale*, con il titolo "La misura del tempo". Questo testo demoliva la popolare concezione, sostenuta dall'influente filosofo francese Henri Bergson, secondo cui abbiamo tutti una comprensione intuitiva del tempo, della simultaneità e della durata. Per Poincaré, infatti, la simultaneità era irriducibilmente una *convenzione*, un accordo tra persone, un patto stretto non perché era inevitabilmente conforme al vero, ma perché

massimizzava l'umana convenienza. In quanto tale, la simultaneità doveva essere *definita*, e ciò poteva essere fatto tramite la lettura di orologi coordinati tra loro mediante lo scambio di segnali elettromagnetici (telegrafici o luminosi). Come poi Einstein nel 1905, Poincaré nel 1898 sosteneva che nel rendere la simultaneità un concetto procedurale si doveva tenere conto del tempo di trasmissione di ogni segnale comunicato via telegrafo.

Einstein aveva letto l'articolo di Poincaré del 1898, o quello successivo (e decisivo) del 1900, prima di scrivere la memoria del 1905? Può darsi. Per quanto non vi sia alcuna evidenza definitiva in un verso o nell'altro, non è inutile affrontare la questione sia nello specifico sia in generale. Come avremo modo di vedere, Einstein non aveva bisogno di leggere le pagine di Poincaré. Il problema della coordinazione degli orologi era discusso nelle riviste filosofiche e persino, occasionalmente, in alcune pubblicazioni di fisica. La coordinazione elettromagnetica degli orologi costituiva un argomento così affascinante per il pubblico della fine del XIX secolo da essere trattato in dettaglio in uno dei libri di divulgazione scientifica per ragazzi preferiti da Einstein.¹⁹

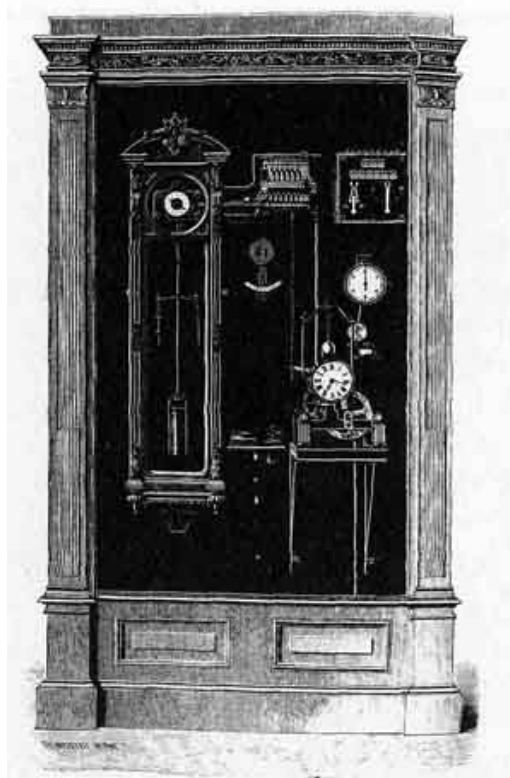


Figura 1.4 Orologio maestro di Neuchâtel. Gli orologi maestri, splendidamente decorati, avevano un enorme valore ed erano motivo di grande orgoglio civico. Questo, nel centro della regione svizzera in cui fioriva l'industria orologiera, riceveva l'ora esatta da un osservatorio e poi trasmetteva i suoi segnali lungo le linee telegrafiche. *Fonte:* Favarger (1924, p. 414).

Nel 1904-1905 una miriade di cavi per la coordinazione degli orologi correva sul suolo terrestre e sul fondo del mare, e gli orologi sincronizzati erano ovunque. Come abbiamo visto, gli interpreti sono soliti leggere i discorsi di Einstein su treni, segnali e simultaneità come un'estesa metafora, un esperimento mentale filosofico-letterario; ma un'analogia lettura metaforica è associata abitualmente anche alle osservazioni di Poincaré.

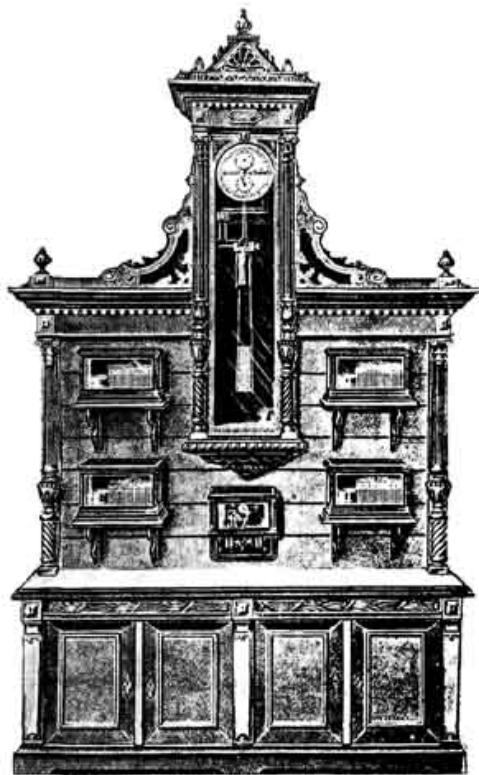


Figura 1.5 Orologio maestro di Berlino. Questo orologio, che risiede nella *Silesischer Bahnhof* di Berlino, inviava il suo segnale orario alle numerose piattaforme che si diramavano dalla stazione. *Fonte:* Favarger (1924, p. 470).

Ci troveremmo in tal caso di fronte a una speculazione filosofica, a un'anticipazione della teoria della relatività speciale, a una mossa brillante da parte di un autore cui sarebbe mancato il coraggio intellettuale per trarne le logiche e rivoluzionarie conseguenze. Si tratta di una vicenda così nota che è diventato quasi un luogo comune ritenere che l'intuizione di Poincaré sul tempo coordinato sia un parto isolato, un barlume filosofico del tutto avulso dal mondo in cui egli viveva. Ma né Poincaré né Einstein parlavano nel vuoto quando parlavano del tempo.

In base a quali regole, chiedeva Poincaré, gli scienziati giudicano più eventi simultanei? Che cos'è la simultaneità? Nell'ultimo dei suoi esempi, quello più convincente, egli faceva riferimento alla determinazione della longitudine. Notava anzitutto che per determinare una longitudine i navigatori o i geografi dovevano risolvere il problema della simultaneità che stava alla base del suo articolo: dovevano cioè calcolare l'ora di Parigi, senza essere a Parigi.

Trovare la latitudine è semplice. Se la stella polare è proprio sopra la vostra testa, siete al Polo Nord; se è a metà strada dall'orizzonte, siete alla latitudine di Bordeaux; se è sull'orizzonte, siete alla latitudine dell'Ecuador, sull'Equatore. Non ha alcuna importanza l'ora in cui misurate la latitudine - in qualunque posizione l'angolo della stella polare è sempre lo stesso. Come è noto, calcolare la differenza di longitudine tra due punti è più difficile: due osservatori distanti devono eseguire misurazioni astronomiche *nello stesso tempo*. Se la Terra non ruotasse, non vi sarebbero problemi: voi e io volgeremmo in alto lo sguardo e controlleremmo quali stelle si trovano direttamente sotto la stella polare (per esempio). Con una mappa delle stelle, potremmo facilmente determinare le nostre longitudini relative. Ma, ovviamente, la

Terra gira; così per stabilire accuratamente le differenze di longitudine dobbiamo essere certi di misurare la posizione sopra di noi delle stelle (o del Sole o dei pianeti) nello stesso tempo. Per esempio, supponiamo che un'équipe di cartografi in Nord America conosca l'ora di Parigi e veda che, nella posizione in cui si trova, il Sole è sorto esattamente sei ore più tardi che nella Città della Luce. Poiché la Terra impiega 24 ore per ruotare su se stessa, i cartografi saprebbero di essere da qualche parte lungo la linea di longitudine che si trova $6/24$ (un quarto o 90 gradi) a ovest di Parigi. Ma come potevano i nostri esploratori sapere che ora era a Parigi?

Come osserva Poincaré nel suo "La misura del tempo", i nostri cartografi potevano conoscere l'ora di Parigi semplicemente perché avevano portato con sé nella spedizione un dispositivo (cronometro), che consentiva loro di misurare con precisione il tempo, regolato sull'ora di Parigi. Ma il trasporto dei cronometri non era privo di difficoltà teoriche e pratiche. In alternativa, i nostri esploratori e i loro colleghi parigini potevano osservare un fenomeno celeste istantaneo (come la comparsa di una luna di Giove da dietro il Pianeta) dalle loro differenti posizioni e dichiarare che le loro osservazioni erano simultanee. Tale procedura, però, è semplice solo in apparenza. Vi erano non pochi problemi pratici nell'uso delle eclissi di Giove. E anche dal punto di vista teorico, come nota lo stesso Poincaré, sarebbe stata necessaria una correzione della misura del tempo, poiché da Giove la luce raggiunge i due punti di osservazione seguendo percorsi diversi. Infine, e questo è il metodo seguito da Poincaré, i nostri esploratori potevano far uso di un telegrafo elettrico per scambiare segnali orari con Parigi:

E chiaro anzitutto che la ricezione del segnale, per esempio a Berlino, è posteriore alla spedizione di questo stesso segnale da Parigi. È la regola della causa e dell'effetto [...]. Ma posteriore di quanto? In generale si trascura la durata della trasmissione e i due avvenimenti si considerano simultanei. Ma, per essere rigorosi, bisognerebbe fare ancora una piccola correzione con un calcolo complicato; non la si fa in pratica, perché sarebbe molto più debole degli errori di osservazione; la sua necessità teorica non viene per questo meno dal nostro punto di vista, che è quello di una definizione rigorosa.²⁰

Le intuizioni dirette del tempo, concludeva Poincaré, non sono atte a risolvere le questioni relative alla simultaneità. Se lo credessimo resteremmo vittime di un'illusione. Le intuizioni devono essere integrate da regole di misurazione: "Niente regole generali, niente regole rigorose: ma una moltitudine di piccole regole applicabili a ciascun caso particolare. Queste regole non si impongono a noi e ci potremmo divertire a inventarne altre; tuttavia, non ne potremmo fare a meno senza complicare molto l'enunciato delle leggi della fisica, della meccanica e dell'astronomia. Scegliamo dunque queste regole, non perché vere, ma perché più comode".²¹ Tutti questi concetti - simultaneità, ordine temporale, durate uguali - furono definiti perché l'espressione delle leggi di natura fosse la più semplice possibile. "In altri termini, tutte queste regole, tutte queste definizioni non sono che il frutto di un opportunismo inconscio."²² Il tempo, secondo Poincaré, è una *convenzione* - non una verità assoluta.

Che ora è per i cartografi a Berlino quando a Parigi è mezzogiorno? Che ora è lungo la linea quando il treno arriva a Berna? Nel porre simili domande Poincaré ed

Einstein sembrano sollevare questioni di una semplicità stupefacente. E tali appaiono anche le loro risposte: due eventi distanti sono simultanei se gli orologi coordinati che si trovano nelle due postazioni indicano esattamente la stessa ora - mezzogiorno a Parigi, mezzogiorno a Berlino. Tali giudizi sono inevitabilmente *convenzioni* basate su regole e procedure: interrogarsi sulla simultaneità significa interrogarsi sul modo di coordinare gli orologi. La loro proposta è la seguente: inviate un segnale elettromagnetico da un orologio all'altro, tenendo conto del tempo impiegato dal segnale per arrivare (viaggiando approssimativamente alla velocità della luce). Un'idea semplicissima, che ha però conseguenze impressionanti per quanto concerne i concetti di spazio e di tempo, la nuova teoria della relatività, la fisica contemporanea, la filosofia del convenzionalismo, la costruzione di reti mondiali di navigazione elettronica e il nostro stesso paradigma di una solida conoscenza scientifica.

Ecco l'oggetto della nostra ricerca: come venne determinata, all'inizio del Novecento, la simultaneità? Come giunsero Einstein e Poincaré a ritenere che la simultaneità dovesse essere definita nei termini di una procedura convenzionale di coordinazione degli orologi mediante segnali elettromagnetici? Per affrontare simili questioni occorre una prospettiva più ampia di quella che può essere colta da un approccio meramente biografico, e non solo perché troppe sono le biografie di Einstein e troppo poche quelle di Poincaré. Ma la nostra non vuole essere una storia delle idee filosofiche di tempo, che ci porterebbe facilmente indietro fino a prima di Aristotele. Né un resoconto esaustivo dell'intricato sviluppo dei dispositivi di misura del tempo, fosse anche limitato a quelli elettrici. E neppure un'analisi completa dei molti concetti, ampiamente condivisi, dell'elettrodinamica del XIX secolo, che Einstein e Poincaré fecero propri nella loro riformulazione dell'elettrodinamica dei corpi in movimento.

Piuttosto, si tratta di attraversare i vari livelli della fisica, della tecnologia e della filosofia, e di esplorare l'incrociarsi degli orologi sincronizzati nel loro andare e venire tra i cavi dell'oceano, per raggiungere gli eserciti prussiani in marcia. Giungeremo al cuore della fisica, passando per la filosofia del convenzionalismo e la teoria della relatività. Prendete il capo di un filo del sistema telegrafico del XIX secolo e cominciate a tirare: sarete trascinati nell'Atlantico del Nord, fino alla spiaggia di ciottoli di Terranova; seguirete la rotta che dall'Europa va all'Oceano Pacifico fino al porto di Haiphong; scivolerete sul fondo dell'oceano lungo l'Africa Occidentale. Provate a seguire i fili interrati e i cavi di ferro e rame: arriverete fino alle Ande; passerete per le lande desolate del Senegal; attraverserete l'America del Nord, dal Massachusetts a San Francisco. I cavi corrono lungo le linee ferroviarie, sotto gli oceani, tra le capanne sulla spiaggia degli esploratori coloniali e le pietre scolpite dei grandi osservatori.

I fili del tempo non arrivarono, però, da soli. Furono accompagnati da ambizioni nazionali, guerra, industria, scienza e conquista. Costituirono un segno tangibile della coordinazione tra le nazioni nello stabilire convenzioni circa lunghezze, tempi e misure elettriche. La coordinazione degli orologi nel XIX e nel XX secolo non fu mai soltanto questione di mera procedura di scambio di segnali. Poincaré era un amministratore di questa rete globale del tempo elettrico, Einstein un esperto della centrale svizzera di smistamento delle nuove tecnologie elettriche. Entrambi erano

inoltre fortemente interessati all'elettrodinamica dei corpi in movimento e affascinati dalle riflessioni filosofiche sullo spazio e sul tempo. La comprensione del processo di sincronizzazione che abbracciava l'intero mondo ci consentirà di cogliere l'aspetto più innovativo della fisica contemporanea e di vedere quanto Einstein e Poincaré fossero pronti a intendere le novità del loro mondo.

Certo, molto possiamo imparare dallo stupefacente contrasto tra il concetto che del tempo aveva Newton nel lontano XVII secolo e quello elaborato da Einstein e da Poincaré all'inizio del XX. Tali concezioni si ergono a monumenti dello scontro tra due epoche: spazio e tempo, nell'un caso, appaiono modificazioni del *sensorium* di Dio; nell'altro, sono dati da regoli e orologi. Tuttavia, la distanza tra il XVII e il XX secolo non dovrebbe oscurare quanto è a noi più vicino. Ed è proprio questo che mi interessa: quel mondo quotidiano del primo Novecento in cui era ormai un'abitudine, non solo per Poincaré e per Einstein, considerare tempo, convenzioni, ingegneria e fisica come un tutt'uno. In quei decenni era quasi naturale mescolare macchine e metafisica. Un secolo dopo, tale prossimità tra il pensiero e le cose sembra essere svanita.

La difficoltà che incontriamo nell'immaginare un simile intreccio di scienza e tecnologia dipende forse dal fatto che ci siamo abituati a dividere la storia in comparti separati: la storia intellettuale, che indaga le idee che sono o intendono essere universali; la storia sociale, che studia classi, istituzioni e gruppi più localizzati; le biografie o la microstoria, che si concentrano sugli individui e il loro ambiente immediato. Trattando della relazione tra scienza pura e scienza applicata, alcune ricostruzioni muovono dal paradiso delle idee astratte e, passando per i laboratori, raggiungono le officine e la vita di tutti i giorni. Altre seguono il percorso inverso, e dal lento raffinamento e progressivo smaterializzarsi dei meccanismi quotidiani della tecnologia si incamminano sulla scala dell'astrazione fino ad arrivare alla teoria - in altri termini, dall'officina al laboratorio, e poi alla lavagna, per giungere infine alle arcane sfere della filosofia. Di fatto, la scienza procede sovente in questo modo: talvolta, idee pure come un vapore etereo paiono per così dire condensarsi nelle cose di tutti i giorni; mentre, talaltra, sublimando dal solido mondo quotidiano, sembrano trasformarsi in aria.

Nessuna di queste due immagini fa, però, al caso nostro. Non furono riflessioni filosofiche o indagini fisiche a *causare* lo sviluppo del tempo coordinato di treni e telegrafi. Le tecnologie non costituirono versioni derivate di un insieme di idee astratte. Né la vasta rete di orologi coordinati di fine Ottocento indusse o costrinse filosofi e fisici ad adottare la nuova convenzione della simultaneità. Le metafore di progressiva evaporazione o condensazione non funzionano nel caso della nostra ricostruzione della coordinazione del tempo. Ci serve, dunque, un altro tipo di immagine.

Si pensi a un oceano ricoperto da un'atmosfera di vapore acqueo. Quando questo mondo è sufficientemente caldo, l'acqua evapora; quando il vapore si raffredda, si condensa in pioggia e ricade nell'oceano. Ma se la pressione e il calore sono tali che, mentre l'acqua si espande, il vapore viene compresso, il liquido e il gas finiscono per approssimarsi alla stessa densità. All'avvicinarsi di questo punto critico, accade qualcosa di straordinario. L'acqua e il vapore non rimangono più stabili; in ogni parte

di tale mondo, porzioni di vapore e di liquido cominciano a passare da una fase all'altra, dal vapore al liquido, dal liquido al vapore - da minuscoli ammassi di molecole fino a volumi di grandezza quasi pari a quella del Globo. Raggiunto il punto critico, la luce di differenti lunghezze d'onda comincia a essere riflessa da gocce di dimensioni diverse - purpurea dalle gocce più piccole, rossa da quelle più grandi. Ben presto, essa rimbalza in tutte le possibili lunghezze d'onda. Ogni colore dello spettro visibile viene riflesso come se lo fosse dalla madreperla. Per le loro violente fluttuazioni tali transizioni di fase fanno sì che la riflessione della luce sia associata al fenomeno noto come opalescenza critica.

È di questa metafora che abbiamo bisogno per la coordinazione del tempo. Vi sono talvolta cambiamenti scientifico-tecnologici che non si lasciano ricondurre a un ambito nettamente distinto, sia esso quello della tecnologia, della scienza o della filosofia. La coordinazione del tempo nella seconda metà dell'Ottocento non fu un lento e regolare processo di sublimazione dal mondo della tecnologia ai domini più rarefatti della scienza e della filosofia. Né le idee sulla sincronizzazione del tempo ebbero origine nel puro regno del pensiero per poi condensarsi negli oggetti e nelle azioni di macchinari e industrie. Fluttuando tra astratto e concreto, su scale diverse, la coordinazione del tempo emerge nelle volatili transizioni di fase dell'opalescenza critica.

Lo studio dei documenti di quasi tutte le città dell'Europa o del Nord America (ma non solo), rivela quale sforzo fu compiuto negli ultimi decenni dell'Ottocento per coordinare il tempo. Lo testimoniano le carte ingiallite dei sovrintendenti ferroviari, dei navigatori e dei gioiellieri, ma anche degli scienziati, degli astronomi, degli ingegneri e degli imprenditori. La questione della coordinazione del tempo riguardava le scuole, in cui gli orologi di ciascuna classe dovevano essere collegati a quello dell'ufficio del preside, nonché le città, le linee ferroviarie e le nazioni, intente a consolidare l'allineamento dei loro orologi pubblici e sovente disposte a ricorrere a ogni mezzo per trovare il modo appropriato di farlo. Basta fare un salto negli archivi dei governi centrali e il cast di personaggi si arricchisce enormemente: anarchici, democratici, internazionalisti, generali.

In mezzo a questa cacofonia di voci cercherò di mostrare nel *presente volume* come la sincronizzazione degli orologi riguardò la coordinazione non solo delle procedure, ma anche dei linguaggi della scienza e della tecnologia. La storia della coordinazione del tempo intorno al 1900 non fu una marcia trionfale verso orologi sempre più precisi; in essa fisica, ingegneria, filosofia, colonialismo e commercio entrarono più volte in conflitto. E in ogni momento, la sincronizzazione degli orologi fu pratica e ideale insieme: isolatore di guttaperca su fili di rame corazzati e tempo cosmico. La regolazione del tempo fu realizzata in maniera così variegata che poté servire in Germania da surrogato dell'unità nazionale, mentre in Francia incorporò in quegli stessi anni l'istituzionalizzazione in chiave razionalista della Rivoluzione.

L'obiettivo della mia ricerca è di perseguire la coordinazione del tempo attraverso questa opalescenza critica, per comprendere a partire da essa la riqualificazione della simultaneità delineata da Einstein e da Poincaré. Addentrandoci nei santuari della produzione del tempo e percorrendo le vie della sua distribuzione avremo modo di tornare più volte in due posti cruciali per la connessione degli orologi, che legavano le

metafore trascendenti degli orologi e delle mappe di Einstein e di Poincaré a luoghi realmente esistenti: il *Bureau des Longitudes* di Parigi e l'Ufficio brevetti di Berna. In questi due centri, Poincaré ed Einstein furono testimoni, portavoce, concorrenti e coordinatori dei flussi incrociati del tempo coordinato.

ORDINE DEGLI ARGOMENTI

Poiché la vicenda della coordinazione del tempo non può essere ricostruita per mera espansione circolare a partire da un nucleo di dirigenti ferroviari, di inventori o di scienziati, la nostra storia alternerà scale diverse, passando di continuo da una narrazione globale a una locale, e viceversa. Nel secondo capitolo ("Carbone, caos e convenzione") presenterò un Poincaré alquanto insolito. Chi leggendo *La scienza e l'ipotesi*, il capolavoro del 1902 che ebbe un grande successo editoriale, potrebbe mai pensare che egli si fosse formato come ingegnere minerario e avesse lavorato in qualità di ispettore nelle dure e pericolose miniere di carbone della Francia orientale? O che per decenni avesse collaborato con il *Bureau des Longitudes* di Parigi, diventandone presidente nel 1899 (e, successivamente, nel 1909 e nel 1910)? Oppure che fosse stato tra i curatori, e sovente tra gli autori, di una delle principali riviste di elettrotecnologia, che pubblicava articoli su questioni fondamentali di elettrodinamica insieme con testi che trattavano della posa di cavi sottomarini e dell'elettrificazione delle città?

La comprensione della trasformazione del tempo - la sua radicale secolarizzazione - ci obbliga a riposizionare la figura di Poincaré, la cui convenzionalizzazione della simultaneità risulterebbe appiattita su due dimensioni qualora lo considerassimo soltanto un filosofo-matematico o un fisico-matematico (anche se egli fu entrambe le cose). Né sarebbe sufficiente riconoscergli un interesse collaterale per l'ingegneria. Il Poincaré di cui parlo non è una monade libera di fluttuare alla ricerca di questa o quella "risorsa" della filosofia, della matematica o della fisica, per la soluzione di determinati problemi. Piuttosto, nel *presente volume* intendo collocare Poincaré al centro di una potente serie di mosse che, in alcune intersezioni critiche, determinarono condotte più o meno coerenti della fisica (o della filosofia o dell'ingegneria). È un errore pensare che, sulla scorta di una formazione già definita, egli si fosse limitato a trarre qualche dettaglio procedurale dalla sua *alma mater*, *l'École Polytechnique*: di essa, infatti, ne fu in larga parte il prodotto. Più volte, insieme con i suoi colleghi, dichiarò, non senza una punta d'orgoglio, di portarne il "marchio di fabbrica". Nel secondo capitolo parlerò appunto di questo marchio, in virtù del quale era ragionevole per Poincaré occuparsi della probabilità degli incidenti minerari, della stabilità e del destino del Sistema solare e di matematica astratta. Capiremo meglio Poincaré se sapremo cogliere in tutta la sua portata il legame tra materiale e astratto. Si tratta di un legame cruciale che ci aiuterà a comprendere, nei successivi capitoli, l'insistenza di Poincaré sui molteplici modi di esaminare la simultaneità a partire dalle prospettive, diverse ma interagenti, della fisica, della filosofia e della tecnologia.

Tuttavia, la “fabbrica” rappresentata dall’educazione politecnica di Poincaré - nonché dagli anni dedicati all’attività mineraria e alla ricerca matematica - non è ancora un terreno sufficientemente ampio su cui collocare la secolarizzazione operata dalla coordinazione del tempo. Dobbiamo guardare a un territorio più esteso, oltrepassando i confini della Francia e raggiungendo le reti rivali di cavi e di rotaie che le grandi potenze stavano allora costruendo a tutto spiano. Tali sistemi, dai confini spesso contestati, potevano essere armonizzati solo grazie a codici e convenzioni che, negli anni Settanta e Ottanta dell’Ottocento, ebbero come obiettivo, non sempre facile, di neutralizzare la collisione tra standard di lunghezza e di tempo incompatibili tra loro. Nel terzo capitolo dovremo pertanto abbandonare l’inquadratura più ristretta adottata nel secondo.

“La mappa elettrica del mondo” descrive, infatti, il più esteso panorama temporale costituito dalle reti planetarie - dagli imperi del tempo in lotta tra loro. Negli ultimi decenni del XIX secolo, nulla rendeva più evidente la necessità di convenzioni mondiali della redazione di mappe globali. Il commercio conobbe in quegli anni una crescita di volume sbalorditiva e ciò aumentava la frustrazione dei navigatori nei confronti di mappe dotate di griglie longitudinali diverse e spesso inaffidabili. Lo stesso valeva per le autorità coloniali, sempre più desiderose di accelerare la conquista di nuovi territori, lo sfruttamento di risorse e la costruzione di linee ferroviarie. Vi era bisogno di una geodesia precisa e coerente. La svolta fu rappresentata dalla Conferenza tenuta nel 1884 presso il Dipartimento di Stato americano, in cui ventidue paesi si diedero battaglia circa l’opportunità di collocare un unico meridiano fondamentale - il punto zero di longitudine - a Greenwich, in Inghilterra. Delusa, se non addirittura infuriata, dalla pretesa di situare questo arco-zero globale nel cuore dell’impero britannico, la delegazione francese ricorse a ogni manovra per adottare un sistema di tempo decimale, determinata a imprimere un marchio francese di illuminato razionalismo sul nuovo ordine mondiale degli orologi e delle mappe.

Il quarto capitolo, “Le mappe di Poincaré”, si situa a un livello intermedio, trattando della campagna francese per la razionalizzazione del tempo, che ebbe il suo culmine negli anni Novanta dell’Ottocento e in cui Poincaré svolse un ruolo di primo piano. Avendo ricevuto l’incarico di valutare il progetto, risalente all’epoca della Rivoluzione, di ridurre il tempo, nonché le divisioni del cerchio, a un sistema decimale, Poincaré ebbe modo, insieme al suo comitato interministeriale, di conoscere di prima mano le varie idee circa le convenzioni da adottare nella misurazione del tempo. In questo stesso periodo egli entrò a far parte del *Bureau des Longitudes* di Parigi, l’ufficio incaricato di coordinare gli orologi in giro per il mondo al fine di produrre le più accurate mappe possibili. È a partire da qui, dall’Europa, dall’Africa, dall’Asia e dalle Americhe, dal mondo dei tempi precisamente sincronizzati e delle mappe geodetiche che possiamo finalmente affrontare la proposta filosofica, avanzata da Poincaré nel 1898, di trattare la simultaneità come una convenzione. Se la simultaneità poteva essere specificata solo dall’accordo circa il modo di sincronizzare gli orologi, vi era allora un felice precedente, sicché essi potevano essere coordinati esattamente come avevano fatto coloro che erano ricorsi ai segnali telegrafici per determinare la longitudine. Si trattava di una mossa di straordinaria importanza, in cui la cartografia più aggiornata si sposava con la

metafisica del tempo. Non vi era più spazio per il tempo assoluto, teologico, di Newton; il suo posto era ora occupato da una *procedura*. Il tempo ordinario degli ingegneri aveva soppiantato il tempo assoluto di Dio.

Non vi era nulla nella convenzionalizzazione del tempo delineata da Poincaré nel 1898 che riguardasse direttamente l'elettrodinamica o il principio di relatività. Tale connessione emerse soltanto nel dicembre del 1900, quando egli riesaminò le ricerche svolte in precedenza dal fisico olandese Hendrik Antoon Lorentz. Nel 1895 Lorentz aveva formulato una teoria dell'elettrone che conteneva un'idea estremamente ingegnosa. Nel sistema di riferimento in quiete dell'etere, in cui si ritiene che valgano le equazioni che governano i campi magnetici ed elettrici (le equazioni di Maxwell), Lorentz parlava di "tempo reale", t_{reale} . Supponiamo che un qualche oggetto, per esempio un blocco di ferro, si muovesse in questo sistema di riferimento in quiete (viaggiando attraverso l'etere) e che le equazioni di Maxwell fornissero una descrizione dettagliata dei campi elettrici e magnetici all'interno del ferro e intorno a esso. Come andava descritta la fisica dal sistema di riferimento in moto *con* il blocco di ferro? Essa sembrava dover diventare molto più complicata non appena si cercava di tener conto del fatto che il sistema di riferimento in moto viaggiava attraverso l'etere. Tuttavia, Lorentz scoprì che era possibile semplificare le equazioni e renderle altrettanto semplici di quelle del sistema di riferimento in quiete dell'etere, una volta ridefiniti i campi e la variabile temporale. Poiché aveva ridefinito il tempo di un evento, così che esso dipendesse da *dove* l'evento aveva avuto luogo, egli lo chiamò t_{locale} , "tempo locale" (*Ortszeit*) - lo stesso termine impiegato nella vita di tutti i giorni per indicare il tempo (dipendente dalla longitudine) di Leida, di Amsterdam o di Giacarta. L'aspetto cruciale era che il tempo locale di Lorentz era una pura finzione matematica usata per semplificare un'equazione.

Poincaré pubblicò per la prima volta un articolo sul tempo nel gennaio 1898 in una rivista di filosofia. Il suo obiettivo era di mostrare che la coordinazione degli orologi basata sullo scambio di segnali elettrici via telegrafo costituisse il punto di partenza per una definizione convenzionale della simultaneità. Si trattava di un'analisi tecnologica e filosofica che non aveva nulla a che vedere con la fisica dei corpi in movimento. Di contro, nel suo secondo contributo (1900), Poincaré estese il tempo t_{locale} di Lorentz alla fisica dei sistemi di riferimento in moto reali (non puramente matematici). A dire il vero, Poincaré fece di tutto per non attirare l'attenzione sulla differenza tra il suo tempo locale "apparente" e quello matematico di Lorentz. Ciononostante, il concetto aveva cambiato significato: nelle mani di Poincaré il tempo locale perse il suo statuto fittizio, diventando il tempo che degli osservatori collocati in sistemi di riferimento in moto leggerebbero sui propri orologi, una volta effettuate le opportune correzioni a seconda che lo scambio di segnali avvenisse nella stessa direzione del vento d'etere o in quella contraria.

Con l'interpretazione del tempo locale data da Poincaré nel 1900, tutte e tre le vicende - fisica, filosofia e geodesia - finirono improvvisamente per intrecciarsi nella coordinazione di orologi sincronizzati elettricamente. Rispondendo ancora una volta a Lorentz, nel 1905-1906 Poincaré fece la sua terza mossa riguardo agli orologi sincronizzati. Nel 1904 Lorentz aveva modificato il suo tempo locale, t_{locale} per far sì che le equazioni dell'elettrodinamica nei sistemi di riferimento in moto fittizi

risultassero ancora più simili a quelle del “reale” sistema di riferimento in quiete dell’etere. Poincaré fece proprio il risultato di Lorentz, correggendo (tra le altre cose) la definizione di tempo locale in maniera da rendere esatta la corrispondenza matematica tra i sistemi di riferimento in moto fittizi e il “reale” sistema di riferimento in quiete. Ma l’aspetto decisivo non stava per Poincaré in questa lieve modifica della teoria di Lorentz. Piuttosto, egli aveva dimostrato che orologi coordinati in moto attraverso l’etere avrebbero dato esattamente il nuovo tempo locale di Lorentz e che lo avrebbero dato per osservatori reali in moto in quel sistema di riferimento. Il principio di relatività rimaneva valido, anche se Poincaré continuava a contrapporre “tempo apparente” e “tempo reale”. Già nel 1906 egli aveva collocato la coordinazione degli orologi mediante segnali luminosi al centro di tre progetti fondamentali per la conoscenza contemporanea: la tecnologia, la filosofia e la fisica.

Il poliedrico francese aveva cominciato con il tempo della geodesia; aveva poi cambiato registro, passando al tempo antimetafisico, convenzionale; infine, si era aperto la strada verso la fisica del tempo locale e della relatività. Grazie alla fisica - ma anche alla filosofia, alla tecnologia e alla politica - Poincaré riteneva che il mondo potesse essere migliorato tramite l’intervento della ragione e dell’intuizione; di fronte a un problema, si diletta a spingerlo fino a una situazione di “crisi”, per poi risolverlo. Era guidato dall’ottimismo dell’ingegnere progressista che desidera riassemblare i cavi e i montanti delle strutture di volta in volta affrontate, ma non mancava di ripetere che occorreva rispettare, fare proprio e migliorare il mondo costruito dai “nostri padri”.

Il quinto capitolo è dedicato a “Gli orologi di Einstein”. Non tratterà dell’Einstein profetico, famoso in tutto il mondo e incline alla matematica del 1933 o del 1953, bensì dell’Einstein che si divertiva ad armeggiare con strumenti fatti in casa nell’appartamento di Kramgasse, affascinato dalla progettazione delle macchine e dall’analisi dei brevetti. Non era ancora l’Einstein improvvisamente celebre della Berlino del primo dopoguerra, né tanto meno l’Einstein maturo di Princeton, che come un eremita viveva perso nelle sue astrazioni, ma un giovane assai impegnato nel 1905 a Berna. Benché le infrastrutture tecnologiche sarebbero state realizzate solo in seguito, con l’inaugurazione in Svizzera delle ferrovie, del telegrafo e della rete di orologi, la sincronizzazione del tempo era allora affare pubblico - e Berna ne era il centro. Il tempo elettrico partiva da Berna per raggiungere l’industria degli orologi della regione del Giura, i quadranti pubblici degli orologi urbani, la rete ferroviaria e, naturalmente, i brevetti degli orologi sincronizzati. Einstein si trovava in mezzo a tutto ciò.

Il cammino che lo condusse al tempo sincronizzato fu, però, molto diverso da quello di Poincaré. Einstein aveva una visione meno “migliorista”. Considerandosi un eretico e un outsider, guardava alla fisica dei padri non tanto per venerarla e perfezionarla, quanto per soppiantarla. La coordinazione del tempo, e più in generale la sua fisica e la sua filosofia, gli apparivano parte integrante della stessa revisione critica dei presupposti di tali discipline. Einstein non esaminò in maniera metodica i vari aspetti della coordinazione del tempo. La maggior parte degli elementi che costituivano il suo approccio alla teoria della relatività erano già bell’e pronti prima che egli affrontasse il problema del tempo; per esempio, sin dal 1901 aveva liquidato

quell'etere che Poincaré aveva cercato in ogni modo di conservare. L'impegno nell'analisi critica dei limiti della fisica e della filosofia era ormai di vecchia data, e da almeno tre anni Einstein dissezionava, insieme con i suoi colleghi ispettori dell'Ufficio brevetti, la macchina del tempo. Così, quando nel maggio del 1905 cominciò a definire la simultaneità per mezzo di orologi coordinati elettricamente, non si curò, come Poincaré, di distinguere il tempo "apparente" da quello "vero", affiancato a un etere quasi fittizio. La coordinazione degli orologi rappresentava per Einstein la chiave con cui mettere in moto la macchina teorica che per un decennio aveva tentato di assemblare. Non vi era alcun etere, bensì campi effettivi e particelle, e non esisteva che il tempo reale segnato dagli orologi.

Nell'ultimo capitolo, "Il posto del tempo", avremo modo di vedere come l'opera di Einstein e quella di Poincaré siano così vicine, ma anche così lontane. Più precisamente, dal confronto non facile dei rispettivi usi del tempo coordinato, appare chiaro che il loro scontro non si risolveva nella contrapposizione tra un approccio reazionario e uno progressista alla natura, ma traeva origine da due visioni estremamente diverse del modo di rinnovare la fisica: da un lato, le speranze riformiste del consumato allievo dell'*École Polytechnique*; dall'altro, la ribellione ai fondamenti del giovane outsider. Tuttavia, nonostante le differenze, entrambi erano alle prese con la medesima straordinaria idea di un tempo elettricamente coordinato, e così facendo si trovavano al crocevia di due grandi movimenti. Da una parte, vi era l'estesa e moderna infrastruttura tecnologica dei treni, delle navi e dei telegrafi, riuniti sotto il segno degli orologi e delle mappe. Dall'altra, stava emergendo un nuovo senso della missione della conoscenza, che avrebbe portato a definire il tempo in termini pragmatici e convenzionali, senza alcun ricorso a verità eterne e sanzioni teologiche. Tempo tecnologico, tempo metafisico e tempo filosofico si incrociavano negli orologi sincronizzati elettricamente di Einstein e di Poincaré. Alla loro intersezione stava, ineguagliata, la coordinazione del tempo: nuovo punto di congiunzione tra sapere e potere.

2

CARBONE, CAOS E CONVENZIONE

Dopo il clamoroso successo della raccolta di articoli filosofico-scientifici pubblicata nel 1902 con il titolo *La scienza e l'ipotesi*, la posizione di Poincaré negli ambienti intellettuali francesi non aveva rivali. Al culmine del prestigio come matematico, fisico e filosofo, fu relatore di una delle più importanti spedizioni scientifiche, nonché in precedenza presidente del *Bureau des Longitudes*. Incarnava il laureato di successo all'*École Polytechnique* che si era fatto rapidamente un nome in matematica, per poi dedicarsi direttamente alla concretezza dell'ingegneria mineraria. È il nostro tema centrale, l'intreccio di astrazione e concretezza, le quali erano per Poincaré e per i suoi contemporanei molto più legate di quanto si aspetterebbero gli studiosi e gli ingegneri dei giorni nostri. Non c'è da meravigliarsi che gli ex studenti dell'*École Polytechnique* chiedessero a Poincaré di sfruttare la relazione annuale al loro convegno per riflettere sul "Ruolo svolto dai laureati al Politecnico nella scienza del XIX secolo". Nel preparare la conferenza, che avrebbe tenuto il 25 gennaio 1903, Poincaré esaminò le presentazioni dei relatori più recenti. "Tra i miei predecessori", disse ai suoi ex compagni di classe e colleghi, "vedo il decano dei nostri generali, numerosi ministri, ingegneri scientifici, il direttore di un'importante compagnia, persone che hanno contribuito alla conquista del nostro impero d'oltre mare e persone che hanno lavorato per organizzarlo, nonché coloro che hanno dato vita, tre anni fa, agli effimeri splendori [dell'Esposizione Universale] sui Champs de Mars." Com'è possibile, domandava Poincaré, che da un'unica formazione fosse scaturita una tale combinazione di scienziati, soldati e ingegneri dotati di spirito imprenditoriale?¹

In un'epoca in cui la divisione del lavoro aveva pervaso la scienza, Poincaré si chiedeva come l'*École* avesse potuto tenere insieme specializzazioni così disparate. Certo, ammetteva, gli esami competitivi selezionavano studenti con attitudini diverse; ed era pure vero che la tradizionale "nobiltà" della scuola serviva da ispirazione ("Coloro che combattono per il loro Paese, come coloro che combattono per la verità..."). Ma doveva esservi qualcosa di più per formare una concezione del mondo capace di accomunare imprese così diverse tra loro. Può darsi che ciò dipendesse dal lavoro gomito a gomito - certo è che chimici, fisici e mineralogisti beneficiavano tutti dell'alta cultura matematica che caratterizzava il loro percorso formativo. Inoltre, anche tra i matematici più astratti dell'*École* "si assiste a una costante attenzione per le applicazioni" - non solo tra quelli che ne avevano fatto un mestiere, ma anche tra i massimi studiosi prodotti dalla scuola, compreso uno dei matematici più illustri nella storia dell'*École Polytechnique*, Augustin-Louis Cauchy. Nonostante la nota

avversione per una matematica impegnata socialmente, Cauchy attinse a piene mani dalla meccanica. Poincaré fece anche il nome del suo maestro, Alfred Cornu, il quale amava ripetere che la meccanica era il cemento che teneva insieme le varie parti che costituivano l'anima del Politecnico. “Ecco dunque”, concluse, “il marchio di fabbrica che stavo cercando; i nostri fisici, i nostri matematici sono tutti un po' meccanici.”²

Chi usciva dall'*École Polytechnique* - primo fra tutti Poincaré - aveva impresso il “marchio di fabbrica” della meccanica, e già questo lo differenziava dagli scienziati formati nelle università. Ma per Poincaré non bastava. Nelle università i professori si preoccupavano dell'unità della scienza; all'*École*, invece, ci si curava di coniugare pensiero e azione. Ed era l'azione, insisteva, che teneva lontana dai laureati dell'*École Polytechnique* quella melanconia circa il presunto fallimento della scienza che assaliva molti dei ricercatori delle università.

Il legame tra l'astratto e il concreto costituiva il tratto più essenziale della “fabbrica”. La scienza cambiava, e con essa il mondo. Poincaré non aveva difficoltà a riconoscere che anche il sistema formativo doveva evolvere: “l'*École* deve trasformarsi poco a poco, come tutte le cose umane, ma senza intaccare ciò che ne costituisce l'anima, l'alleanza tra teoria e pratica non deve essere infranta; e non lo deve, poiché senza di essa non rimarrebbe dell'*École* che una vuota nomea”.³

Poincaré era stato ammesso all'*École Polytechnique* nel 1873. All'epoca, il problema di come bilanciare conoscenza pura e applicazioni utili era più che mai avvertito in Francia. Solo due anni prima i tedeschi avevano inflitto ai francesi un'umiliante sconfitta: l'euforia, il senso di unità e le nuove terre conquistate avevano spinto la Germania a costruire istituti scientifici e monumenti per celebrare la vittoria.⁴ La Francia, perdute l'Alsazia e la Lorena, cercava disperatamente di comprendere le ragioni della disfatta. L'infrastruttura tecnica dello Stato venne messa in discussione: non vi era libro che non lamentasse le condizioni penose delle ferrovie e, più in generale, l'inadeguata preparazione del paese di fronte alla prospettiva di una nuova stagione di conflitti. Ma le critiche non vertevano tanto su specifiche tecnologie, quanto sulle istituzioni responsabili della formazione tecnica, per le quali appariva necessaria una riforma, la più rapida possibile. Nessuna di queste istituzioni aveva un peso maggiore dell'*École Polytechnique*, la *Grande École* cui Poincaré era stato appena ammesso.

Fondata nel 1794, l'*École Polytechnique* non aveva eguali negli Stati Uniti, in Gran Bretagna o in Germania. Costruita per plasmare un'élite di ingegneri capaci, grazie all'uso illuminato della scienza, di trasformare l'esercito in una forza della modernità, l'*École* doveva essere un'istituzione scientifica deputata a far prosperare matematica, fisica e chimica, con la matematica sul gradino più alto. Selezionando gli studenti tramite esami assai competitivi (i famosi *concours*), l'*École* creò un pool di persone con una rigorosa formazione ingegneristica basata sulla matematica. Dopo la laurea, molti dei suoi studenti raggiunsero i più alti livelli della struttura amministrativa dello Stato, sovrintendendo alla costruzione prima della nuova nazione e poi, nel XIX secolo, di un impero. In parte Oxbridge e in parte Sandhurst? Metà MIT e metà West Point? I paragoni non funzionano. Chi frequentava l'*École Polytechnique* aveva una formazione molto più scientifica di quella dell'equivalente britannico che studiava

lettere classiche, più matematica di quella di uno studente di ingegneria americano e meno incline al lavoro di precisione in laboratorio di quella di uno studente di fisica di una scuola tedesca d'élite. L'*École* era, e ancor oggi rimane, un'istituzione unica nel suo genere, che sin dagli anni Settanta dell'Ottocento era avvolta in Francia da un alone mitico.

Nei primi anni dopo la sua fondazione, l'ingegnere e matematico rivoluzionario Gaspard Monge ricorse alla geometria per combinare con successo le esigenze conflittuali dell'ingegneria pratica e della matematica avanzata. Egli era convinto che la geometria proiettiva servisse ad addestrare la mente, a rivelare le verità della scienza, a scolpire la pietra e il legno e a costruire le fortificazioni. Ma nei primi decenni del XIX secolo il programma di Monge cominciò a vacillare. La matematica, promossa con forza dal conservatore Cauchy, iniziò consapevolmente a far valere la propria ambizione di unire il mondo alla mente. La scienza era in ascesa, mentre le applicazioni battevano in ritirata - e tale tendenza era incoraggiata dalla costruzione di nuove e più specializzate scuole di ingegneria.⁵

Quando Parigi cadde in mani prussiane, i francesi non imputarono la colpa alla carenza delle istituzioni scientifiche. Pasteur diede voce prestigiosa a quanti vedevano nel trionfo tedesco un fallimento della scienza francese, trovando larga eco in tutto il paese. Tali accuse risuonavano con forza nelle aule dell'*École*: era uno dei più importanti centri di ingegneria scientifica e i suoi studenti vestivano già l'uniforme. Alfred Cornu, un ex allievo che aveva fatto ritorno all'*École* e che era considerato uno degli astri nascenti in fisica, articolò la posizione della Scuola dopo il disastro, quella cioè di un delicato equilibrio tra scienza e impegno attivo. Incarnò, per così dire, il tipo ideale del nuovo "politecnico" della Terza Repubblica, capace di passare con facilità dalla ricerca pura a quella applicata. Come ebbe in seguito a osservare con ammirazione lo stesso Poincaré, l'opera di Cornu investì svariati ambiti dell'ottica, apportando nuovi strumenti e tecniche non solo per i fisici, ma anche per gli astronomi, i meteorologi e persino gli orologiai. Egli aveva progettato e costruito a Nizza un orologio astronomico con un enorme pendolo di straordinaria precisione, e ogni anno vi lavorava per perfezionarlo. Inoltre, era riuscito a sviluppare una dettagliata teoria matematica della coordinazione degli orologi basata sullo scambio di segnali elettrici.⁶ Né la sua commistione di scienza pura e scienza applicata, né il suo interesse specifico per la coordinazione elettrica del tempo andarono persi con Poincaré.

Le lezioni di Cornu erano ricche di dimostrazioni stilizzate di particolari fenomeni di laboratorio. Benché il suo insegnamento non prevedesse per gli studenti esercitazioni pratiche, egli considerava gli esperimenti parte vitale della scienza - l'alfa, se non l'omega. E non era il solo: sia lui sia i suoi colleghi si assicuravano che i giovani scienziati usciti dall'*École Polytechnique* negli anni Settanta dell'Ottocento nutrissero profondo rispetto per la pratica sperimentale - anche se non avevano grande familiarità con la manipolazione degli strumenti, le misurazioni complesse o l'analisi dei dati. Di contro, gli studenti imparavano che l'attività scientifica doveva culminare nelle grandi strutture matematiche che abbracciavano i dati; che non dovevano prestare eccessiva fede nella verità letterale di particolari assunzioni circa l'atomismo o i campi elettrici. A tale proposito, non è un caso che, dovendo ricoprire

un insegnamento di chimica che si era reso vacante, la Facoltà decidesse di puntare anzitutto a mantenere l'equilibrio tra coloro che credevano negli atomi e coloro che non vi credevano.⁷

Fu questo il mondo in cui Poincaré entrò nel 1873. Competitivo, attento, impegnato, scrutava come un falco i colleghi, comunicava a casa i voti ottenuti dai rivali, commentando di tanto in tanto gli scherzi degli studenti o riflettendo sulle macchinazioni politiche dei Gesuiti. La meccanica catturò la sua attenzione, e in questa fondamentale disciplina i suoi voti arrivarono presto a diciannove o venti (su venti). Non senza orgoglio scrisse a casa di aver trovato una dimostrazione più semplice di quella che il professore aveva presentato in classe. Né mancò di informare i genitori dei progressi registrati sia nel disegno tecnico sia in quello a mano libera. Quando, con grande sorpresa degli operai, visitò con un gruppo di compagni una locale fabbrica di cristalli, Poincaré raccontò di essere rimasto affascinato dalla destrezza delle maestranze e dalla tecnologia dei loro forni Siemens.⁸ Persino da studente sapeva riconoscere il “marchio di fabbrica” dell'*École Polytechnique*. Ma ciò non gli impediva di descrivere alla madre l'insegnamento ricevuto in toni assai meno brillanti di quelli che ritroviamo nelle ricostruzioni successive:

È come se fossimo in un'immensa macchina di cui dobbiamo seguire il movimento se non vogliamo essere espulsi; dobbiamo fare quello che 20 generazioni dell'*École* hanno fatto prima di noi e che $2n + 1$ generazioni di coscritti faranno dopo di noi. Non si usano qui che due facoltà dell'intelletto: memoria ed elocuzione; chiunque può capire un corso con un po' di lavoro ed è per questo che qualunque professore può pretendere che mi imbottisca di nozioni, se vuole. [...] Sono perciò condannato a scegliere: abbandonare il lavoro personale o stare al mio posto; dato che questa alternativa dura solo due anni, non ho dubbi sulla scelta fatta, poiché il vantaggio che otterrò dalla mia posizione è incommensurabile; ma devo stare attento e [passando all'inglese] *this is the question*.⁹

Alla morte di Cornu, Poincaré ne tracciò un ritratto personale, dichiarando di compiangere come amico, consigliere e maestro - e la sua carriera seguì per molti aspetti un percorso simile. Entrambi erano stati studenti di prim'ordine all'*École*, avevano frequentato l'*École Nationale Supérieure des Mines*, avevano accettato di tornare come docenti all'*École Polytechnique* e avevano servito lo Stato con incarichi ingegneristico-amministrativi. Da queste esperienze trassero lezioni profonde. Come molti di quelli che erano passati per l'*École Polytechnique*, si impegnarono per tutta la vita in favore del legame tra conoscenza astratta e concreta. A testimonianza della loro formazione, furono entrambi membri del consiglio di amministrazione del *Bureau des Longitudes* e, insieme con altri colleghi dell'*École Polytechnique*, guidarono una miriade di progetti tecnologici innovativi, contribuendo dalle pagine delle riviste di elettrotecnica al buon funzionamento delle commissioni scientifiche di cui facevano parte.

Ovviamente, la relazione tra ricerca pura e applicazioni tecnologiche non era all'*École* congelata una volta per tutte, né lo era altrove. Assomigliava più a un vasto

oceano percorso da onde lente, sulle quali si stagliava talvolta il profilo di una scienza olimpica priva di alcun interesse per la tecnologia, talaltra quello di una trionfalistica tecnologia militare e industriale insensibile alle esigenze della conoscenza pura. Dopo la disfatta del 1871, Cornu e i suoi alleati erano riusciti per breve tempo a calmare quelle onde e ad appiattire il mare, riconoscendo pressoché pari dignità alle diverse parti in gioco. Fu all'interno di questa "immensa macchina", in cui la tecnologia e la fisica matematica possedevano uguale forza, che Poincaré divenne Poincaré.

CARBONE

Prima di passare agli orologi vale la pena di esplorare due momenti iniziali della carriera di Poincaré, poiché ci dicono molto sul suo modo di essere e di pensare, nonché sul ruolo che egli ebbe nel flusso turbolento delle tecnologie e delle scienze. Tanto per fissare le idee, possiamo pensare a questi due episodi come a quelli del carbone e del caos, dal momento che nel primo decennio di attività - all'incirca dalla fine degli anni Settanta all'inizio degli anni Novanta dell'Ottocento - Poincaré fu alle prese non solo con una nuova e fortemente instabile meccanica del Sistema solare, ma anche con lo sporco e pericoloso mondo delle miniere francesi di fine XIX secolo.

Laureatosi nel 1875, Poincaré seguì la tradizione trasferendosi con altri due colleghi della sua stessa classe all'*École Nationale Supérieure des Mines*. I tre - Poincaré, Bonnefoy e Petitdidier - cominciarono qui i loro studi nell'ottobre dello stesso anno.¹⁰ Il mentore di Poincaré, il matematico Ossian Bonnet, si adoperò per fargli ottenere una riduzione del carico di lezioni in modo da permettergli di dedicarsi interamente alle ricerche matematiche, ma l'*École des Mines* non ne volle sapere. Così, il giovane Henri fu costretto a finire la tesi in matematica studiando i dettagli dei pozzi di ventilazione. Il lavoro geologico sul campo lo portò, tra l'altro, in Austria e in Ungheria nel 1877.

Anche la cerchia dei suoi interessi culturali si stava allargando. L'adorata sorella minore, Aline, lo presentò al filosofo Émile Boutroux, cui sarebbe poi andata in sposa. Boutroux e Poincaré cominciarono immediatamente a discutere di filosofia. Avendo studiato a Heidelberg, fino allo scoppio della guerra franco-prussiana, Boutroux aveva fatto proprio l'impegno filosofico tedesco per l'unione di discipline umanistiche e scientifiche. Autore di numerosi scritti, animato da vivo entusiasmo e dotato di profondo senso religioso, sosteneva (sulla scia del kantismo assorbito a Heidelberg) che gran parte della scienza appartenesse più alla mente che al "mondo esterno". Tramite Boutroux, Poincaré ebbe modo di frequentare altri filosofi, nonché il matematico Jules Tannery, che aveva uno spiccato interesse per la filosofia. Il gruppo non condivideva le inclinazioni religiose di Boutroux (Tannery era un fervente e secolare repubblicano), ma tutti i suoi esponenti erano alla ricerca di una mediazione tra una scienza intesa come mera osservazione e una scienza concepita come pura creazione della mente. Poincaré sembrò trovare congeniale tale visione; del resto, per anni aveva sostenuto che la scienza avesse bisogno di mescolare induzione e deduzione. Come ebbe a scrivere in una lettera inviata ad Aline intorno al 1877,

osservazione e induzione andrebbero trattate con “riserva”. E aggiungeva: “si dirà che l’induzione ci può fornire una conoscenza per natura identica alle stesse osservazioni; l’osservazione non ci può insegnare nulla della Sostanza [...] ci può solo mostrare il fenomeno per sé; e nemmeno il fenomeno in sé; ma solo le sensazioni che esso produce in noi”. L’esperienza, diceva Poincaré alla sorella, non sarebbe mai stata sufficiente a fondare la piena generalità della conoscenza. “Eh, cosa vuoi che faccia; non abbiamo che da prendere quello che ci appartiene; quanto al resto, dobbiamo rassegnarci e ammettere che per noi rimarrà per sempre lettera morta.”¹¹



Figura 2.1 La curva della felicità di Poincaré (con un dettaglio). Questa lettera, inviata da Poincaré alla madre nell’estate del 1879, include sia una mappa disegnata a mano dei suoi viaggi geologici sia una curva geometrica che mostra “i limiti della sua gioia” in “momenti normali”, “ieri”, “in treno”, e “adesso”. Fonte: Archives Henri Poincaré, M021.

Un altro dei colleghi di Poincaré all’*École Polytechnique*, il filosofo e scienziato Auguste Calinon, era altrettanto cauto circa la conoscenza che “non ci appartiene”. Nel 1885 egli pubblicò un trattato sui fondamenti della meccanica e della geometria. I rapporti con Poincaré sembravano esser sempre stati buoni. Quando si incontrarono, ai primi di agosto del 1886, Calinon gli diede una copia del suo recente *Étude critique sur la mécanique*. Sin dalle prime battute, il testo metteva in guardia dal ricorso ad assoluti in questioni di spazio e di tempo:

Molti autori, in matematica come in filosofia, accettano la nozione di moto assoluto come un principio primo (*idée première*). Questa opinione è stata fortemente contestata; [...] vale la pena di osservare che, dal punto di vista della meccanica razionale, si tratta di una questione priva di importanza; il moto di un punto, considerato isolatamente, è un concetto puramente metafisico, poiché, anche concedendo che qualcuno possa immaginare un tale moto, è impossibile certificarlo e determinarne le condizioni geometriche, per esempio la forma della sua traiettoria.¹²

Data l'inaccessibilità dell'assoluto, Calinon era disposto a parlare solo di moto relativo. Analogamente, suggeriva che pure la simultaneità dovesse essere accessibile: due oggetti stellari in moto in determinate posizioni potevano essere detti simultanei soltanto se li si vedeva "nello stesso tempo". Per Calinon, la registrazione umana degli eventi era così importante che si doveva tener conto anche del tempo impiegato dalle sensazioni per essere registrate dal cervello. "L'idea di tempo è, dunque, inerente al modo in cui funziona il nostro cervello ed essa non ha alcun senso se non per menti come la nostra."¹³ Si trattava certo di una forma di kantismo, benché di natura più psicologica (o psicofisiologica) di quella che dominava la scena di lingua tedesca. Pare che Poincaré avesse risposto quasi immediatamente, analizzando il lavoro punto per punto. La sua lettera è andata perduta, ma ci è rimasta la replica di Calinon; da essa traspare chiaramente come il primo commento di Poincaré riguardasse la locuzione "nello stesso tempo" e come egli fosse d'accordo sul fatto che "è solo in virtù delle nostre sensazioni che giudichiamo l'essere simultaneo o successivo".¹⁴

Le speculazioni filosofiche sui limiti della conoscenza scientifica, sul potere ristretto dell'osservazione e sul ruolo attivo svolto dalla mente nell'elaborazione delle teorie scientifiche furono temi che accompagnarono Poincaré per il resto della sua vita. Nessuna di queste riflessioni ne interruppe, però, le ricerche matematiche (nel 1878 presentò la tesi in matematica) o il lavoro nelle miniere. Nel marzo 1879 conseguì il titolo di "ingegnere ordinario" all'*École des Mines*, e il 3 aprile dello stesso anno si recò a Vesoul per svolgere la nuova professione; cominciò le ispezioni il giorno successivo e le continuò intensivamente per i mesi seguenti. Il 4 giugno 1879 annotò che i pozzi di Saint-Charles erano quasi esauriti - "vene scarse e irregolari". Il 25 settembre visitò i pozzi di Sainte-Pauline, concentrando l'attenzione sull'aerazione, sulla rimozione del gas e sulle sorgenti d'acqua - ossia su quei tipici compiti di ingegneria cui l'*École des Mines* aveva attribuito grande importanza. Un mese dopo, il 27 ottobre, Poincaré raggiunse i pozzi di Saint-Joseph per ispezionare le procedure di eliminazione delle scorie. La sua ultima visita a una miniera ebbe luogo il 29 novembre 1879.

Ma una delle tappe del percorso, Magny, doveva rivelarsi tutt'altro che di routine. La sera del 31 agosto 1879, alle 18, ventidue uomini scesero nella miniera di carbone per il loro turno di lavoro. Alle 3.45 circa del mattino un'esplosione scosse la miniera, spegnendo all'istante le lampade dei minatori. Due di essi, che si trovavano nella gabbia di discesa, vennero investiti violentemente dall'onda d'urto, mentre altri due furono sbalzati nel bacino di pompaggio (che, fortunatamente, era coperto da un'asse di legno qualche metro più sotto). I quattro sopravvissero, riuscendo a guadagnare la superficie. Il capo dei minatori, Juif, che si trovava fuori servizio nei pressi delle cave, ricondusse immediatamente gli uomini nella miniera, dove trovarono un cumulo di stracci che bruciava senza fiamma, come l'incenso. Juif si precipitò a spegnere il materiale prima che appiccasse il fuoco alle strutture di recinzione in legno, al carbone o, peggio ancora, innescasse un'altra catastrofica esplosione. Seguendo i lamenti, i soccorritori scoprirono Eugène Jeanroy, un ragazzo di sedici anni, che morì il giorno dopo per le ferite riportate. Tutti gli altri minatori della squadra ritrovati nel

corso delle ricerche erano già morti, alcuni a causa di terribili ustioni.

Poincaré entrò nella miniera quasi immediatamente dopo l'esplosione, nel bel mezzo delle operazioni di soccorso, incurante del rischio di una seconda detonazione. In quanto ingegnere minerario, toccava a lui determinare la causa del disastro. Cercando la scintilla che lo aveva provocato, si concentrò anzitutto sulle lampade. In queste "lampade di sicurezza", progettate da Humphrey Davy nel 1815, la fiamma che illuminava era circondata da una fitta maglia di filo metallico che faceva passare la luce e lasciava entrare l'aria, impedendo però alla fiamma di fuoriuscire. Una lampada difettosa in una miniera satura di metano è un disastro imminente. Le lampade numero 414 e 417 erano appartenute a Victor Félix ed Émile Doucey; non furono mai recuperate. La lampada 18 andò totalmente distrutta per il crollo di una cava: la maglia metallica e il vetro non vennero mai ritrovati, le sbarre erano piegate e spezzate, mentre la parte superiore appariva completamente staccata dalla base. L'attenzione di Poincaré, come egli stesso scrisse nella sua relazione, fu attirata in maniera particolare dalla lampada 476: non aveva vetro ed era rotta in due punti. Il primo squarcio, lungo e ampio, sembrava provocato da una pressione interna. Il secondo, invece, era di forma rettangolare e derivava chiaramente da una causa esterna; in realtà, si trattava di una tipica perforazione causata, a detta di tutti i minatori, da un colpo di piccone. La lampada risultava assegnata ad Auguste Pautot, un minatore di trentatré anni; ma non venne trovata vicino al suo corpo. Poincaré osservò che era ancora appesa a una trave a pochi centimetri dal terreno e nelle immediate vicinanze del corpo di Émile Perroze. Poincaré e i soccorritori trovarono la lampada di Perroze intatta, da tutt'altra parte.

Nella relazione Poincaré alternò un tono asettico con uno più personale, tipico di chi non era ancora stato indurito da anni di indagini sugli incidenti. Raccomandò che il capo dei minatori ricevesse una ricompensa per il coraggio mostrato, e terminò la sezione medica con un triste commento in cui esprimeva la speranza che la morte avesse colto i minatori all'istante, risparmiando loro una lunga agonia. Nella sua conclusione elencò non solo le vittime, ma anche le nove donne e i trentacinque bambini che avevano lasciato: "Anche i più generosi sforzi della compagnia saranno insufficienti a dare sollievo a tanta miseria".¹⁵

Nelle pagine dedicate all'individuazione delle cause dell'incidente, il linguaggio di Poincaré tornò analitico: formulò ipotesi e controipotesi, e le confrontò una per una con i dati a disposizione. Accettò, per esempio, l'idea diffusa secondo cui i minatori che si trovano a monte di un'esplosione rispetto al flusso d'aria rimangono di solito ustionati, mentre quelli che si trovano a valle sono colpiti da asfissia. Poiché tutti i minatori deceduti nel disastro di Magny avevano riportato ustioni, era logico supporre che l'esplosione avesse avuto luogo al di sotto dell'ultimo uomo, Doucey. I crolli sembravano rafforzare tale deduzione e suggerire che l'esplosione del gas fosse avvenuta nella mezzaluna (si veda la figura 2.2). Tuttavia, questa ipotesi all'apparenza plausibile era in contrasto con un'altra "che rende[va] altrettanto bene conto dei fatti". In particolare, Poincaré considerò la possibilità che l'esplosione fosse avvenuta vicino al paletto di legno immediatamente adiacente al luogo in cui si trovava la lampada 476:

Siamo così in presenza di due ipotesi che, finora, appaiono ugualmente plausibili: l'esplosione è avvenuta nella mezzaluna, l'esplosione è avvenuta in cima alla gabbia di discesa. Senza la lampada di Doucey non è possibile dimostrare direttamente che essa non abbia causato l'accensione iniziale del gas. Ma ciononostante altre considerazioni supportano l'idea che l'incidente principale sia avvenuto dove lavorava Perroz.¹⁶

Poiché Perroz era addetto a caricare il carbone e perciò non aveva un piccone, Poincaré concluse che doveva essere stato Pautot a perforare accidentalmente la lampada con il suo attrezzo, scambiando poi inavvertitamente la sua lampada con quella di Perroz. Qualche tempo dopo lo scambio, la lampada perforata, la 476, aveva acceso il metano atmosferico, dando inizio alla conflagrazione e scatenando poi una seconda esplosione nel punto in cui il gas, non completamente bruciato, era entrato in contatto con il flusso d'aria principale.

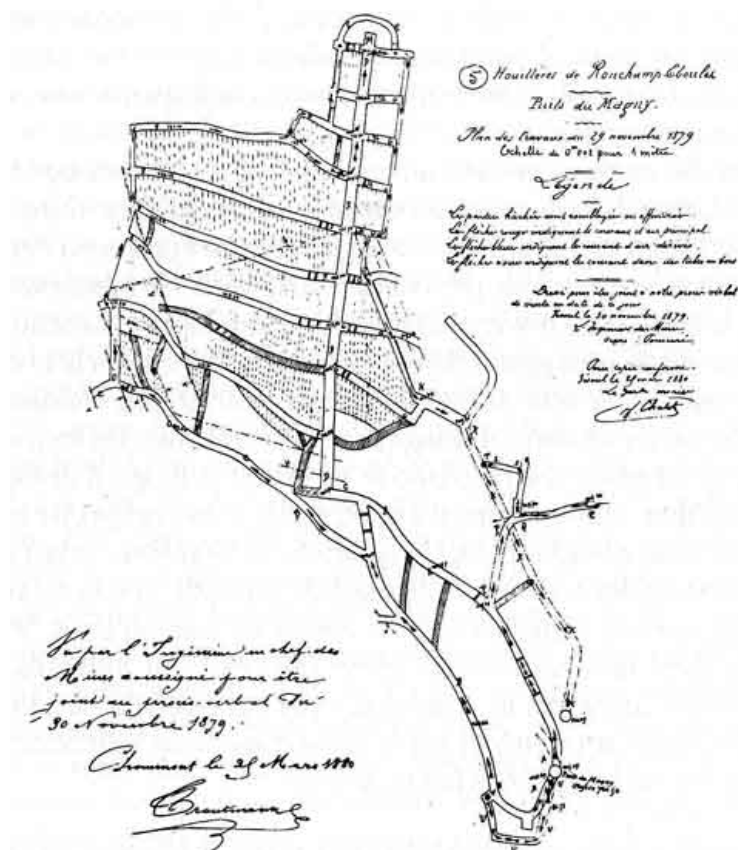


Figura 2.2 Mappa dell'esplosione di Magny. Poincaré disegnò questa mappa per ricostruire il percorso del flusso d'aria nel pozzo minerario di Magny, nel periodo in cui ebbe l'incarico di ingegnere addetto alla sicurezza delle miniere. Dalle indagini svolte egli concluse che l'esplosione fatale del 31 agosto 1879 era stata causata dall'accidentale perforazione da parte di un minatore della sua lampada "di sicurezza" Davy, piuttosto che da un'esplosione nel pozzo "a mezzaluna" situato in cima alla mappa. *Fonte:* Roy e Dugas (1954,p. 13).

Passo dopo passo, Poincaré ragionò sui risultati dell'indagine, eliminando a una a una tutte le altre possibili sorgenti di gas. Alcune di esse erano esterne al flusso d'aria, altre vene di carbone erano troppo vecchie per degassificare. L'argomento determinante, aggiunse, consisteva nel fatto che *qualunque* fuoriuscita di gas da una sorgente distante sarebbe salita verso la cima del tunnel e non sarebbe, dunque, entrata in contatto con la lampada 476 che si trovava in basso. Qualsiasi lenta

esalazione di gas avrebbe asfissiato Perroz che, secondo il personale medico, era morto in piedi. No, concluse Poincaré, il gas doveva essere entrato all'improvviso, probabilmente da uno sfiato naturale, a un passo dalla lampada 476. Quando il gas aveva colpito la lampada perforata, il destino dei minatori era ormai segnato.¹⁷

Poincaré lavorò per mesi a questa perizia. Tornò alla miniera il 29 novembre 1879 per esaminare la meccanica dell'aerazione, eseguire test e misurazioni del flusso, nonché determinare la pressione relativa dell'aria nei diversi punti dei pozzi di ventilazione. Consegnò la relazione a Vesoul il 1° dicembre 1879. Lo stesso giorno il Ministero della pubblica istruzione lo informò che egli sarebbe stato nominato professore incaricato per il corso di Analisi presso la Facoltà di scienze a Caen. Ma né la matematica, né alcuna delle sue altre occupazioni lo distolsero mai del tutto dall'interesse per l'attività mineraria. Alla fine del 1879 sperava ancora di poter continuare la carriera di ingegnere minerario insieme a quella di matematico. Di fatto, non lasciò mai il *Corps des Mines*: nominato ingegnere capo nel 1893, divenne ispettore generale il 16 giugno 1910. Poco prima di morire nel 1912, pubblicò un articolo (dal titolo "Les Mines") in un libro che aveva concepito insieme con alcuni colleghi per unire il mondo della cultura a quello della tecnologia e della scienza. Il suo intervento era preceduto da una piccola immagine di una lampada Davy priva di alcun commento, a dimostrazione che, più di trent'anni dopo, non aveva dimenticato i pozzi fumanti di Magny. "Una sola scintilla", scriveva, "è sufficiente ad avviare la combustione [...]; mi rifiuto di descrivere gli orrori che ne seguono."¹⁸

CAOS

Persino mentre lavorava alla progettazione e al miglioramento degli attrezzi minerari - lampade, ascensori, ventilatori per i pozzi -, Poincaré trovava il tempo per cimentarsi in questioni matematiche dotate di profondo significato fisico. Le sue ricerche vertevano in gran parte su quella che all'epoca rappresentava *la* grande sfida della meccanica celeste: il problema dei tre corpi. Si tratta di un problema abbastanza facile da formulare. Il moto di un singolo corpo è determinato dall'imperativo di Newton secondo cui un corpo in moto tende a perseverare nel suo stato. Anche il moto di due corpi, che si attraggono l'un l'altro in virtù della forza di gravità newtoniana, poteva essere determinato. Assumendo per semplificare che i pianeti fossero attratti soltanto dal Sole (e non l'uno dall'altro), Newton e i suoi successori potevano tramite un semplice esercizio calcolare le precise traiettorie di questi corpi intorno al Sole. Ma nel caso di un sistema di tre o più corpi che si attraggono reciprocamente (si pensi, per esempio, al Sole, alla Luna e alla Terra), la situazione era molto più complicata. Per risolvere il problema occorreva soddisfare diciotto equazioni connesse tra loro. Se lo spazio è misurato da tre assi x , y e z , allora per una descrizione completa del moto dei corpi orbitanti si dovrebbero conoscere le posizioni x , y e z in ciascun istante di tempo per ciascuno dei tre corpi celesti (il che già richiede nove equazioni), insieme alla quantità di moto di ciascun corpo in ciascuna direzione (altre nove equazioni). Scegliendo le coordinate appropriate, le

diciotto equazioni potevano essere ridotte a dodici.

Per molti matematici della metà del XIX secolo, la loro disciplina tendeva a un sempre maggior rigore - definizioni precise, dimostrazioni destinate a eliminare la ben che minima ombra di dubbio. Il curriculum di studi all'*École Polytechnique* non alimentava certo una simile passione per dimostrazioni logicamente inattaccabili, e lo stesso Poincaré non fece mai mistero di non tenerle in gran conto. Non gli interessavano neppure metodi migliori per risolvere equazioni, benché in astronomia tali studi potessero accrescere l'accuratezza delle predizioni della posizione in cui si sarebbe potuto trovare un Pianeta. Le tabelle delle effemeridi (come venivano chiamate le giustapposizioni dei corpi celesti) erano molto utili per i navigatori. L'individuazione di tali numeri, importanti dal punto di vista sia scientifico sia pratico, poteva essere una di quelle tipiche cose che non dispiacevano a un uomo formato all'*École Polytechnique* come Poincaré. Ma di procedere nel modo abituale neanche a parlarne: egli era in grado di mostrare che gli usuali metodi di approssimazione per trovare le effemeridi fornivano predizioni clamorosamente sbagliate circa le posizioni dei pianeti. Non era mai stato attratto dalla fissazione dei matematici puri per il rigore ed era ora convinto della futilità del tradizionale abbraccio mortale dei metodi numerici da parte degli astronomi applicati. Aveva, dunque, bisogno di un approccio del tutto diverso.

Furono i diagrammi a offrire a Poincaré la nuova via d'accesso alla meccanica celeste: si concentrò su quelli che chiamava gli aspetti *qualitativi* delle equazioni differenziali. Un'equazione differenziale ci dice come un sistema di oggetti - punti, pianeti o acqua - cambia da un istante a un altro che lo segue a distanza infinitesimale. Di per sé ciò non è molto utile per fare predizioni: sapere dove si troverà un Pianeta tra un istante non è di grande aiuto per chi naviga. Per ottenere utili predizioni a lungo termine, l'astronomo doveva sommare un gran numero di cambiamenti infinitesimali al fine di calcolare, per esempio, dove avrebbe potuto essere Marte il giugno successivo. Per molti esperti di meccanica, la soluzione di tali problemi richiedeva di compiere somme del genere (ossia di integrare) e di scrivere il risultato finale in forma semplice e riconoscibile. Questo, però, non era l'obiettivo di Poincaré.

Più o meno da quando aveva lasciato le miniere era sua intenzione affrontare le equazioni differenziali a modo proprio. Invece di seguire, per così dire, una singola goccia d'acqua lungo la corrente, egli voleva caratterizzare l'andamento del flusso di *tutte* le gocce che costituivano la superficie dell'acqua. Si interessava alla forma generale del flusso per estrarre le caratteristiche complessive del sistema. Per esempio, quanti vortici si formavano - sei, due, nessuno? Un simile approccio non avrebbe fornito una formula elegante per ottenere la velocità di una determinata goccia in un certo punto della corrente, né avrebbe offerto un nuovo schema numerico per approssimare la posizione assunta da Marte, poniamo, il 12 aprile. Poincaré cercava, invece, *un'immagine* in grado di catturare la fisionomia dell'equazione e il sistema fisico che essa rappresentava. Sotto quali condizioni un asteroide o un Pianeta sarebbe fuggito nello spazio? O precipitato sul Sole? Ovviamente, tali studi avevano un carattere astratto, matematico; ma anche notevole concretezza. Poincaré voleva soprattutto comprendere le curve e il loro comportamento qualitativo - i dettagli delle formule, le predizioni numeriche e il rigore al massimo grado sarebbero venuti poi.¹⁹

Basando i suoi ragionamenti sulla ricchezza dell'approccio geometrico-visivo, piuttosto che sul freddo bisturi dell'algebra, egli riportava in vita, sia pure in forma molto più sofisticata, le ambizioni matematiche di un Politecnico che apparteneva a un lontano passato. Le grandi formule astratte di Eulero, Laplace o Lagrange non facevano al caso suo. Era stato Lagrange, dopo tutto, a diffidare della geometria al punto da giurare che la sua intera opera di meccanica analitica si sarebbe basata unicamente sull'algebra, e non avrebbe mai fatto ricorso a costruzioni geometriche. Non un'analogia meccanica, né un singolo diagramma avrebbero mai macchiato le sue pagine.

Al contrario, Poincaré lavorava in maniera puramente geometrica e aveva sempre a portata di mano analogie meccaniche. Già nel 1881, concentrando l'attenzione sulle equazioni differenziali associate al problema dei tre corpi, aveva chiarito la sua ambizione qualitativa, intuitiva:

Non è forse possibile domandarsi se uno dei corpi rimarrà sempre in una certa regione del cielo o se invece potrà allontanarsene indefinitamente? Se la distanza tra due corpi aumenterà o diminuirà sempre di più, o se, invece, rimarrà compresa tra certi valori limite? Non è forse possibile porsi migliaia di interrogativi di questo genere, che avranno tutti risposta non appena si sapranno costruire *qualitativamente* le traiettorie dei tre corpi?²⁰

È da qui, dall'unione di ciò che è geometricamente visualizzabile con la fisica, che muovevano le ricerche su cui Poincaré sarebbe tornato di continuo; proprio come fece, nel corso della carriera, per le questioni relative alla matematica delle equazioni differenziali e alla fisica del problema dei tre corpi. Così scrisse nel 1885 (a proposito di uno dei suoi più importanti contributi matematici): “Non è possibile aver letto [...] parti di questa memoria senza essere rimasti colpiti dalla rassomiglianza che presentano le varie questioni ivi trattate con il grande problema astronomico della stabilità del Sistema solare”.²¹ La meccanica - le macchine - non mancavano mai. Era questo il marchio di fabbrica.

Poincaré proseguì con successo nel suo programma qualitativo volto alla comprensione del comportamento delle equazioni differenziali, tanto da guadagnare l'attenzione dei migliori matematici del mondo. Quando, nel luglio 1885, *Nature* diede annuncio di un concorso matematico bandito dal re di Svezia, Oscar II, in occasione del suo sessantesimo compleanno, egli era uno dei candidati principali alla vittoria. Toccò a Gösta Mittag-Leffler, noto matematico, nonché direttore degli *Acta Mathematica*, la responsabilità di formare la giuria. Per primo reclutò Charles Hermite, uno degli insegnanti di Poincaré all'*École Polytechnique*; poi, lo stesso maestro di Hermite, il formidabile matematico tedesco Karl Weierstrass, che per tutta la vita si era battuto per l'implacabile rigore logico. (Anche Mittag-Leffler aveva rapporti amichevoli con Poincaré.) I lavori dovevano essere consegnati entro il 1° giugno 1888: il primo dei quesiti proposti riguardava proprio il problema dei tre corpi.²²

Tra la data del bando e quella di consegna, Poincaré venne eletto membro dell'*Académie des Sciences*. Era un grandissimo onore. Voleva dire che, il 31 gennaio 1887, a soli trentadue anni, era già un'istituzione dell'élite scientifica francese. I membri dell'Accademia potevano essere chiamati (e spesso Poincaré lo fu) a

ricoprire una vasta gamma di incarichi amministrativi, dal *Bureau des Longitudes* alle commissioni interministeriali competenti negli ambiti più diversi (legale, militare, scientifico). Poincaré si adattò facilmente al nuovo ruolo pubblico e cominciò a scrivere per un uditorio più ampio. Dei quasi cento saggi e volumi non tecnici che egli stese per quotidiani, periodici e riviste scientifiche, quelli composti prima della nomina all'Accademia delle Scienze si contano sulle dita di una mano.

Per tutta la carriera, i metodi visivi e intuitivi costituirono per Poincaré una sorta di stella polare. Sin dai primi lavori scientifici era ricorso alle geometrie non euclidee quale metodo per la soluzione di alcuni problemi. Ora, impiegando tecniche visive (topologiche) affinate in un decennio di studio delle equazioni differenziali, poteva partecipare alla competizione all'insegna del motto latino "*numquam praescriptos transibunt siderea fines*". L'adagio diceva molto. Dal punto di vista tecnico, Poincaré mirava a stabilire vincoli ai moti causati dalla mutua attrazione dei pianeti, riaffermando la stabilità del Sistema solare. Ma, al di là della matematica, il motto rifletteva la fede profonda nella natura essenzialmente stabile del mondo che lo circondava. Nonostante l'eccellenza di alcuni dei contributi in concorso, Poincaré vinse a mani basse, offrendo non solo risultati, ma anche una pletora di metodi nuovi che lo ponevano ai vertici della matematica dell'epoca. Tutto andava, o sembrava andare, per il verso giusto.

Dopo aver presentato la memoria destinata a fruttargli il premio (forse pensando al ruolo che il suo approccio qualitativo, orientato verso i metodi visivi, aveva avuto nel dimostrare la stabilità del Sistema solare), Poincaré fece un passo indietro per indagare quale posto spettasse alla logica e all'intuizione nella scienza matematica e nella pedagogia. A suo dire, i matematici del tempo, se avessero dato uno sguardo ai testi del passato, non avrebbero visto che opere caratterizzate da una diffusa mancanza di rigore. Molti dei concetti più antichi - punto, linea, superficie, spazio - sembravano ora assurdamente vaghi. Le dimostrazioni dei "nostri padri" apparivano fragili strutture, incapaci di sostenere il loro stesso peso. Poincaré non aveva difficoltà ad ammettere che ora i matematici sapevano quello che i loro padri non sapevano, e cioè che vi sono miriadi di funzioni bizzarre che "sembrano fare del loro meglio per somigliare il meno possibile alle oneste funzioni che hanno una qualche utilità". Queste nuove funzioni possono essere continue, ma sono costruite in modo così peculiare che non è possibile neppure definire la loro derivata. Peggio ancora, lamentava Poincaré, tali funzioni bizzarre sembrano essere in maggioranza. Le leggi semplici non paiono che casi molto particolari. Una volta si inventavano funzioni nuove per scopi pratici; oggi noi matematici le inventiamo soltanto per mettere in evidenza gli errori nei ragionamenti dei nostri padri. Se dovessimo seguire un percorso puramente logico, i principianti dovrebbero conoscere, sin dai loro primi passi nella matematica, il "museo teratologico" delle nuove mostruose funzioni.

Ma tale percorso teratologico non era quello che Poincaré consigliava ai suoi lettori, fossero essi studenti o matematici puri. Nella formazione matematica, sosteneva, l'intuizione non andava considerata l'ultima delle facoltà mentali da coltivare. Per quanto importante potesse essere la logica, era in virtù dell'intuizione "che il mondo matematico rimaneva in contatto con il mondo reale; e anche se la matematica pura potrebbe fare a meno di esso, è sempre necessario tornare

all'intuizione per colmare l'abisso [che] separa il simbolo dalla realtà". I pratici avevano *sempre* bisogno dell'intuizione, e per ogni geometra puro ve n'erano cento in trincea. Anche il matematico puro, tuttavia, dipendeva dall'intuizione. La logica poteva fornire dimostrazioni e confutazioni, ma l'intuizione era la chiave per creare nuovi teoremi, nuova matematica. Poincaré era franco: un matematico senza intuizione era come uno scrittore chiuso in una cella, con soltanto una grammatica a disposizione. Riteneva perciò che la didattica (si riferiva espressamente *all'École Polytechnique* dove all'epoca insegnava) avrebbe dovuto privilegiare le nozioni intuitive e abbandonare le funzioni puramente formali, controintuitive, che servivano solo a rovinare l'eredità matematica dei nostri avi.²³

L'appello in favore dell'intuizione matematica fu dato alle stampe quando la memoria con cui Poincaré aveva vinto il premio stava per essere pubblicata. Ma nel luglio 1889, Lars Edvard Phragmén, un matematico svedese ventiseienne che lavorava come redattore degli *Acta Mathematica* alle dipendenze di Mittag-Leffler, notò che vi erano problemi nella dimostrazione. Li riferì a Mittag-Leffler, il quale, in una lettera del 16 luglio, informò Poincaré, rincuorandolo sul fatto che, con una sola eccezione, "essi potevano essere eliminati quasi immediatamente".²⁴ Poincaré capì ben presto che non sarebbe stato facile venire a capo di quell'eccezione; non si trattava né di un errore tipografico, né di una semplice lacuna che poteva essere colmata con poche righe matematicamente più accurate.²⁵ Vi era qualcosa di profondamente sbagliato nel suo lavoro. Non solo il premio, ma anche la reputazione della rivista e quelle dei giudici erano a rischio. Poincaré doveva trovare l'errore.

Ecco il problema. Come nei suoi studi sulle equazioni differenziali, Poincaré aveva considerato tre corpi: un piccolo asteroide lanciato intorno al sistema orbitante costituito da Giove e dal Sole. Che cosa poteva fare l'orbita dell'asteroide? Un comportamento particolarmente semplice sarebbe stato quello di tornare ogni volta nello stesso punto con la stessa velocità: un mero moto periodico. Per rappresentare tali orbite ripetitive in maniera estremamente semplificata, Poincaré ebbe un'idea sorprendente: non pensare alla traiettoria in sé. Realizzò che si poteva invece esaminare la situazione ogni volta che l'asteroide sopraggiungeva - creando, per così dire, un'immagine stroboscopica nota poi come "applicazione" o "mappa di Poincaré". Per essere precisi, la mappa registrava la quantità di moto e la posizione dell'asteroide a ogni passaggio, ma possiamo afferrare l'idea raffigurando la mappa come un vasto foglio di carta, molto più grande di qualsiasi pianeta, steso nello spazio perpendicolarmente alla traiettoria dell'asteroide. Ogni volta che l'asteroide torna, immaginate che faccia un buco F in questo foglio cosmico. Nel caso di una semplice orbita periodica, dopo aver forato il foglio, l'asteroide continuerebbe a passare attraverso lo stesso buco per il resto dei suoi giorni. Tale buco è tecnicamente chiamato un punto fisso. Più in generale, l'idea di Poincaré era quella di studiare lo schema delle forature fatte dall'asteroide su un foglio a due dimensioni, piuttosto che la sua orbita completa nello spazio.

Tuttavia, se l'asteroide cominciava la sua orbita con una posizione e una velocità differenti, non era necessario che viaggiasse in maniera così semplice e ripetitiva. Immaginate, per esempio, che un altro asteroide, identico al precedente, attraversi il foglio non nel buco F , ma nelle sue vicinanze. Una possibilità è che le forature, orbita

dopo orbita, determinino una successione di buchi attraverso il foglio che si avvicinano sempre di più a F e, nella pienezza dell'eternità, lo raggiungono. Immaginate di tracciare una curva S che passi per tutti questi buchi. L'asse curvo S passante per F è detto *stabile*, se un asteroide che parte da un qualsiasi punto della linea (cioè le cui forature cominciano in un qualsiasi punto della curva) tende gradualmente verso un'orbita che passa sempre attraverso il buco F (vedi la Mappa 1 nella figura 2.3). Di contro, una curva che passa per F è detta *instabile*, se un asteroide che, in un remoto passato, abbia attraversato il foglio in F , si allontana sempre di più da questo punto lungo l'asse curvo I (vedi Mappa 2).

Nella memoria inviata per il premio la tesi di Poincaré era che, se le forature di un asteroide si fossero allontanate da un punto fisso come F , si sarebbero alla fine stabilizzate intorno a un altro punto fisso. Un simile risultato avrebbe descritto un mondo ordinato, vincolato, che corrispondeva perfettamente al motto sulle stelle rinchiuso nei loro limiti. Spinto da Phragmén a studiare più accuratamente la sua dimostrazione, Poincaré analizzò il problema nell'autunno del 1889 e la sua fede nella stabilità del Sistema planetario cominciò a vacillare. Nel frattempo, però, la pubblicazione dell'articolo andava avanti.

Domenica, 1 dicembre 1889, Poincaré confessò a Mittag-Leffler:

Non vi nascondo l'ambascia che mi procura questa scoperta. Anzitutto non so se giudichiate i risultati che rimangono validi, ossia l'esistenza di soluzioni periodiche, le soluzioni asintotiche [e le mie critiche dei metodi precedenti], ancora meritevoli dell'alto onore del premio di cui mi avete insignito.

La revisione richiederà, inoltre, molto lavoro e non so se potrete iniziare a stampare la memoria; ho telegrafato a Phragmén. Comunque sia, non posso fare altro che confidare le mie perplessità a un amico sincero quale voi siete. Vi scriverò non appena riuscirò a vedere le cose più chiaramente.²⁶

Mercoledì, 4 dicembre: Mittag-Leffler scrisse a Poincaré dichiarandosi "estremamente perplesso" di quanto aveva sentito da Phragmén circa la valutazione che Poincaré stesso dava della situazione. "Non ho dubbi che la vostra memoria verrà comunque considerata un'opera di genio dalla maggior parte dei geometri e che costituirà il punto di partenza di tutte le future ricerche nel campo della meccanica celeste. Non pensiate dunque che io sia pentito per il premio. [...] Il problema è che la vostra missiva è arrivata troppo tardi e la memoria è già stata distribuita." Scrivetemi una lettera, continuava, in cui spiegate che, sulla base della vostra corrispondenza con Phragmén, avete scoperto che la tesi della stabilità non è, di fatto, dimostrata in tutti i casi e in cui dite che mi manderete un manoscritto corretto. Mittag-Leffler aggiungeva che una buona parola per Phragmén non sarebbe stata fuori luogo, dal momento che vi era una cattedra vacante all'Università. "È vero che gli avversari che mi sono procurato con il successo degli *Acta* cercheranno di montare uno scandalo, ma io reagirò con serenità, poiché non mi imbarazza essere in vostra compagnia nell'errore e sono fermamente persuaso che alla fine riuscirete a chiarire i misteri più reconditi di questo problema straordinariamente difficile".²⁷

Il giorno successivo Mittag-Leffler passò all'azione, riferendo a Poincaré che aveva telegrafato a Berlino e a Parigi per chiedere che non venisse distribuita alcuna copia

della rivista incriminata. A Parigi, solo Charles Hermite e Camille Jordan ne avevano ricevuta una; Karl Weierstrass ne aveva una a Berlino. A Jordan, per esempio, Mittag-Leffler scrisse per dire che era sfuggito un errore e che doveva essere corretto, per cui lo pregava di lasciare la sua copia a disposizione di un “domestico” che l’avrebbe ritirata. “Vi chiedo per favore di non fare a nessuno parola di questa spiacevole vicenda”, si raccomandò con Hermite, “vi darò tutti i dettagli domani.”

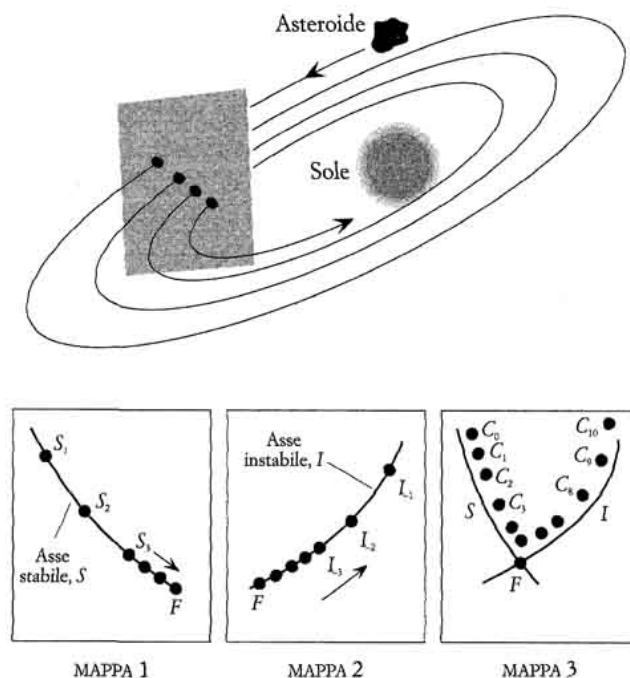


Figura 2.3 Applicazione o “mappa” di Poincaré. I diagrammi “stroboscopici” di Poincaré, che riportano le forature intermittenti di un foglio di carta, assomigliano a una rappresentazione cartografica al punto che divennero universalmente noti come “mappe di Poincaré”, e per indicare le loro caratteristiche si usarono nomi come “isole”, “stretti”, e “valli”. La Mappa 1 rappresenta un “asse” stabile S , lungo il quale le forature successive convergono verso il punto fisso F . La Mappa 2 mostra un asse instabile I in cui le forature successive si allontanano da F , mentre la Mappa 3 ritrae l’intersezione di un asse stabile e di uno instabile nel punto F . In quest’ultimo caso, una foratura C_0 vicina all’asse curvo stabile S è seguita da una successione di buchi che avanzano verso F (allorché sono nelle vicinanze di S) e poi se ne allontanano (allorché sono lungo l’asse curvo instabile I).

Man mano che rintracciava le copie, Mittag-Leffler cominciò a sperare di poterle recuperare tutte. “Sono molto lieto”, confidò a Poincaré, “che il signor Kronecker [un matematico tedesco altrettanto famoso di Weierstrass e suo archi-nemico] non abbia ricevuto la sua copia.” Ma persino gli alleati di Mittag-Leffler cominciarono a irritarsi per questa campagna. Nel rispondere alla sua zuccherosa lettera, Weierstrass non mancò di far trasparire il disappunto: “Le confesso, inoltre, che non me la sento di prendere la faccenda altrettanto alla leggera di quanto fate voi, Hermite e Poincaré stesso”. Weierstrass notò freddamente che nel suo paese, la Germania, vigeva l’assioma secondo cui le memorie che avevano vinto un concorso dovevano essere stampate nella forma in cui erano state giudicate. Aggiunse che la questione della stabilità non era affatto marginale nel lavoro di Poincaré; anzi, come egli stesso aveva indicato in una relazione che doveva servire da introduzione alla memoria di Poincaré, essa aveva un ruolo centrale. Che cosa, si chiedeva Weierstrass, rimaneva in quel saggio di tutto il suo programma positivo?²⁸

Poincaré riscrisse il testo. Quello che rimaneva (o, piuttosto, quello che aveva inventato *ex novo* per rimediare all'errore), era qualcosa che esulava completamente dal dominio dei possibili moti che egli - o chiunque altro - avesse mai preso in considerazione. Era il caos, non la stabilità, a regnare in questo nuovo universo. Ecco come stavano le cose: supponiamo, con Poincaré, che una linea di stabilità e una linea di instabilità si intersechino nel punto fisso F . (Ciò non è difficile da immaginare. Considerate una sella: una biglia lasciata cadere dal pomello in direzione della spina dorsale del cavallo oscillerà avanti e indietro finché non si stabilizzerà nel mezzo della sella: un punto stabile. Ma una biglia spinta a destra o a sinistra cadrà giù per non tornare mai più: un punto instabile.) Ora, supponiamo che il nostro asteroide passi all'inizio vicino (ma non sopra) l'asse stabile; esso si approssimerà gradualmente a F , finché non vi giungerà così vicino da cadere sotto l'influenza dell'asse instabile, cominciando ad allontanarsi da F . Tutto ciò è rappresentato nella figura 2.3, Mappa 3, attraverso la successione di buchi $C_0, C_1, C_2, \dots, C_7, C_8, \dots$. Fin qui Poincaré non aveva problemi.²⁹

Ma supponete che l'asse stabile e l'asse instabile si intersechino in un qualche altro punto, per esempio in un punto H , che Poincaré battezzò punto *omoclinico*. H sarà allora, per definizione, *sia* un punto dell'asse stabile S (che spinge le successive forature dell'asteroide verso F) *sia* un punto dell'asse instabile I (per cui un asteroide che passa inizialmente vicino a F determinerà, prima lentamente e poi più velocemente, i conseguenti [i buchi successivi] di F uno dopo l'altro allontanandosi da F lungo I attraverso H). Supponiamo ora che un asteroide passi attraverso H ; poiché deve rimanere su S , a ogni successivo attraversamento del foglio (H_1, H_2, H_3 , ecc.), percorre la sua strada lungo S verso F . Ma, dato che ogni punto sull'asse instabile rimane sempre su I , dal momento che anche H è su I , tutti i conseguenti di H dovranno a loro volta essere su I . Così, l'asse I esteso deve contenere tutti i conseguenti di H che abbiamo appena tracciato: H_1, H_2, H_3 , e così via. Un modo in cui ciò può verificarsi è mostrato nella figura 2.4a.

Consideriamo ora un diverso asteroide, C , vicino a H , ma su I (figura 2.4b). Poiché H è su S , C (essendo vicino a S) comincerà a muoversi verso F . Ciò è quanto vedevamo nella figura 2.4a. Nello stesso tempo, poiché C parte su I , i suoi conseguenti (C, C_1, C_2, C_3 , e così via) devono stare su I , dal momento che I è esteso. Così la successione C, C_1, C_2 si muove verso F . Ma, alla fine, quando i conseguenti di C si approssimano a F , i C successivi cominciano a battere in ritirata lungo l'asse instabile I , come nella figura 2.3, Mappa 3. Poiché I interseca S in H , anche i C , nella loro ritirata lungo I , alla fine incrociano S (ciò è illustrato da C_6). L'asse I , dopo aver intersecato S in H_3 , deve tornare di gran carriera verso C_4 , e poi deve dirigersi di nuovo verso F per intersecare S in H_4 . Si noti che, poiché l'asse I esteso verso e da C_6 ha intersecato l'asse S (nei due punti etichettati X), abbiamo due *nuovi* punti omoclinici e la mappa diventa enormemente più complicata.

Da tale complicazione risulta che, lungi dallo stabilizzarsi in un comportamento vincolato, l'asse instabile, e dunque qualsiasi asteroide che passa per esso o nelle sue vicinanze, vagherà per tutta la mappa di Poincaré, dando luogo a un moto così straordinariamente complicato che lo stesso matematico francese non fu in grado di darne una rappresentazione.

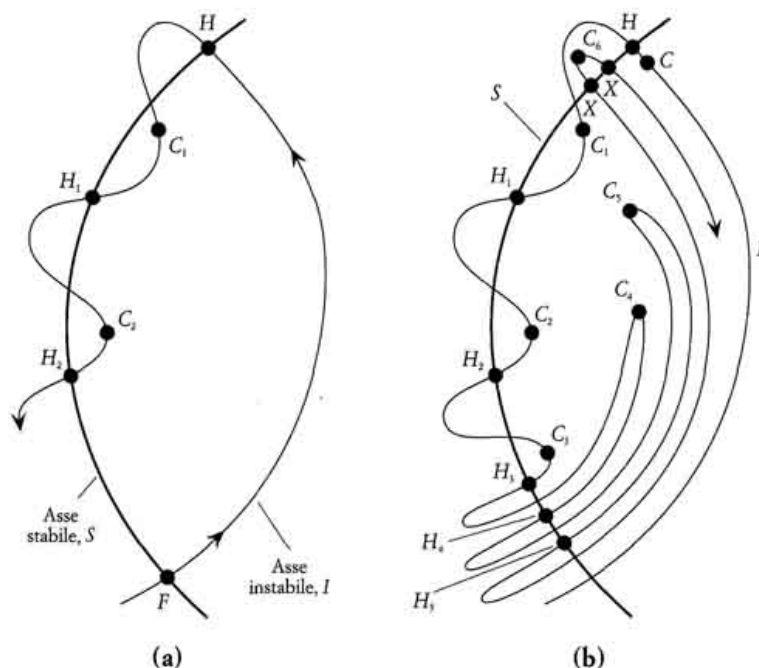


Figura 2.4 Il caos nella mappa di Poincaré. Dall'intersezione dell'asse stabile e di quello instabile può scaturire la complessità. Di fatto, nella prima versione della memoria per il premio Poincaré lasciò irrisolta proprio la possibilità di tali intersezioni che inducono il caos. Come illustrato nel testo, ciò conduce all'estensione enormemente complessa dell'asse instabile che comincia in (a) e poi si sviluppa più pienamente in (b). Persino il comportamento di (a) è solo l'inizio della complessità che risulta non appena vengono considerate le nuove intersezioni di S e I (nei punti indicati con X). Comprensibilmente, Poincaré disperava di riuscire a disegnare il "reticolo" che una rappresentazione più completa avrebbe dovuto mostrare.

Quando riuscì a ultimare la rielaborazione della memoria del premio, pubblicandola nel terzo volume delle *Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, cercò di descrivere le figure che risultavano:

Tentiamo di farci un'idea della figura formata da queste due curve e delle loro intersezioni, che sono in numero infinito e corrispondono ciascuna a una soluzione doppiamente asintotica; queste intersezioni formano una sorta di reticolo, di ordito, di rete dalle maglie infinitamente fitte; ciascuna delle due curve non deve mai intersecare se stessa, ma deve ripiegarsi su se stessa in maniera assai complicata per poter intersecare un'infinità di volte tutte le maglie della rete.

"Nemmeno tento di disegnarla," aggiunse, benché "nulla [sarebbe] più adeguato a darci un'idea di quanto complicato sia il problema dei tre corpi."³⁰

Cent'anni dopo la pubblicazione della memoria del premio, l'esplorazione del caos da parte di Poincaré doveva diventare di gran moda ed essere celebrata come l'alba di una nuova scienza, un progresso rivoluzionario rispetto alle mere predizioni della scienza classica. Alla fine del XX secolo, alcuni fisici, filosofi e teorici della cultura hanno salutato le scienze della complessità (come sono state poi chiamate) come una forma di "fisica postmoderna", mentre potenti computer hanno cominciato a sfornare mappe di Poincaré in grado di illustrare nei minimi dettagli quello che il loro inventore disperava di vedere sulla carta. Alcune di queste mappe hanno rilevato nuovi fenomeni fisici; altre hanno abbellito gallerie d'arte.³¹ Ma, nel 1890, Poincaré

non aveva affatto intenzione di rivoluzionare la natura della scienza. Per evitare uno scandalo potenzialmente dannoso, colmò la lacuna nella sua dimostrazione e, indagando la nuova dinamica, scoprì qualcosa che non aveva né cercato né desiderato - una crepa nella stabilità dell'Universo.

Lungi dal farne una bandiera radicale, Poincaré mostrò che, per quanto il numero delle orbite caotiche fosse infinito, la probabilità che un asteroide si trovasse in un regime instabile era insignificante rispetto alla probabilità che la sua orbita fosse stabile. Avendo perso la partita per la stabilità assoluta, dovette accontentarsi di una stabilità probabilistica: “Si potrebbe dire”, scrisse circa due anni dopo la revisione del saggio del premio, “che le [orbite instabili] costituiscano l’eccezione e [quelle stabili] la regola”. Invece di strombazzare ai quattro venti di aver aperto una breccia nella stabilità, Poincaré sottolineò la potenza dei nuovi metodi qualitativi nell’analisi della dinamica celeste classica. “[II] vero scopo della meccanica celeste non è di calcolare le effemeridi, perché in tal caso potremmo accontentarci di previsioni a breve termine, ma di accertare se la legge di Newton è sufficiente, da sola, a spiegare tutti i fenomeni celesti.”³² Il vero banco di prova della fisica di Newton sarebbe stato l’esame dei suoi aspetti qualitativi: “Da questo punto di vista [quello cioè di accertare la portata della legge di Newton] la relazione implicita di cui ho appena parlato può servire altrettanto bene di formule esplicite”.³³ In gioco, per Poincaré, vi erano le relazioni nascoste tra le cose, non le formule e le posizioni che gli astronomi erano indaffarati a calcolare con sempre maggiore precisione nei decimali.

CONVENZIONE

L’attenzione di Poincaré per le strutture più che per le cose rivela una sorprendente analogia con il suo uso delle geometrie non euclidee. Molti dei suoi contemporanei ritenevano che le geometrie non euclidee, scoperte nel corso del XIX secolo, avessero segnato una svolta. Per oltre duemila anni la geometria euclidea aveva rappresentato il modello di un ragionamento che muoveva da punti certi per giungere a conclusioni inevitabili. Sin dal XVIII secolo l’interpretazione (o forse il fraintendimento) della filosofia kantiana le aveva assegnato il sacro statuto di una conoscenza incorporata nel tessuto della mente. Per alcuni scienziati e filosofi le geometrie non euclidea costituivano uno slittamento radicale nella definizione stessa di conoscenza, un segno dell’ottimismo di una nuova epoca pronta a rompere definitivamente con l’intuizione; altri temevano la terribile perdita di certezza che quelle geometrie comportavano. Poincaré ebbe un atteggiamento molto più pragmatico. Da un lato, sostenne nel 1891 che se gli assiomi euclidei potevano essere conosciuti prima di ogni esperienza, gli esseri umani non avrebbero potuto immaginarne altri così facilmente. Dall’altro, osservò che gli assiomi della geometria euclidea non potevano essere semplicemente risultati sperimentali. Se lo fossero stati, avrebbero dovuto essere di continuo soggetti a revisione. Poiché i corpi perfettamente rigidi, che sono necessari per esemplificare le linee rette, non esistono, avremmo presto “scoperto” che la nostra geometria era semplicemente falsa: avremmo trovato, per esempio, triangoli la somma dei cui angoli

non dà *esattamente* 180 gradi. Poincaré insisteva sul fatto che la nostra decisione di quale geometria adottare è *guidata* da fatti sperimentali, ma non è da essi vincolata, restando in ultima analisi una scelta, soggetta al nostro bisogno di semplicità.

Uno degli scritti di Poincaré rivolti al largo pubblico trattava della semplicità, della comodità e delle ipotesi della geometria. Che cosa sono le ipotesi? In che senso sono vere? Per Poincaré la geometria non era altro che un *gruppo*, ossia un insieme di oggetti sui quali è definita una operazione che ha determinate proprietà. Una di queste proprietà è che l'operazione deve essere reversibile. I numeri interi (...,-3,-2,-1, 0,1, 2, 3, ...), per esempio, possiedono tale proprietà rispetto all'addizione e alla sottrazione; l'aggiunta di un numero intero può sempre essere annullata dalla sottrazione dello stesso numero. Tra le possibili operazioni del gruppo dovrebbe esservi anche quella dell'identità, l'operazione cioè che lascia un dato oggetto immutato; nel nostro esempio, l'operazione di identità consiste nel sommare zero. Inoltre, combinando le operazioni si dovrebbe ottenere un elemento che fa ancora parte del gruppo: sommare 5 e poi 8 ha lo stesso effetto che sommare 13. Negli scritti filosofici Poincaré insisteva spesso sul fatto che noi impariamo quali gruppi ci sono utili dall'incontro col mondo; ma l'idea di gruppo è uno strumento che possediamo sin dalla nascita. Non c'è da sorprendersi che un gruppo particolarmente interessante per gli esseri umani sia quello costituito dal movimento dei corpi rigidi nello spazio. Poincaré sosteneva che abbiamo scelto l'ordinaria geometria euclidea, tra le molte alternative possibili, poiché il gruppo a essa sottostante corrisponde, in maniera semplice, a quello dei movimenti dei corpi rigidi nello spazio - gli oggetti solidi che si muovono nel nostro mondo reale. Avremmo potuto scegliere altrimenti? Ovviamente sì, è la risposta di Poincaré: abbiamo solo scelto la geometria più comoda. Ciò significa che le altre geometrie sono false? Nient'affatto. Sarebbe come pretendere di dire che le coordinate cartesiane (che misurano la posizione di un punto tramite gli usuali assi x e y) sono vere, mentre le coordinate polari (che misurano la posizione di un punto mediante la sua distanza dall'origine e l'angolo formato da tale raggio) false. Ancora una volta, Poincaré sottolineava come si trattasse di libere scelte nella rappresentazione del mondo, determinate non da qualcosa di totalmente esterno, bensì dalla semplicità e dalla comodità della nostra conoscenza. "Non ho bisogno di insistervi; non è compito di questo lavoro sviluppare verità che cominciano a diventare banali."³⁴

Poincaré era così impegnato a difendere il ruolo della scelta convenzionale da sostenere, a un certo punto, che scegliere una geometria è come scegliere tra il francese e il tedesco: si può scegliere questo o quel linguaggio o idioma per esprimere gli stessi pensieri. Immaginate delle formiche intelligenti che vivano sulla superficie di una sella e definiscano una linea retta come la distanza più breve tra due punti. Il matematico formica dirà: "La somma degli angoli interni di un triangolo è minore di due angoli retti". Noi (dalla nostra prospettiva umana) descriveremmo col linguaggio "euclideo" la stessa situazione in maniera alquanto diversa, poiché vedremmo i triangoli delle formiche come forme dai lati curvi. Il matematico umano potrebbe dire: "Se un triangolo curvilineo ha per lati archi di cerchio che, se prolungati, intersecherebbero ortogonalmente il piano fondamentale, la somma degli angoli interni di questo triangolo curvilineo sarà minore di due angoli retti". Entrambi

gli enunciati catturano la medesima situazione, usando però idiomi diversi. Non vi sarebbe dunque alcuna contraddizione. Una corrispondenza del genere mostra che i teoremi della geometria delle formiche che vivono sulla sella non sono meno coerenti della nostra geometria ordinaria; e potrebbero anche essere utili: se una simile “geometria fosse suscettibile di un’interpretazione concreta, cesserebbe d’essere un ozioso esercizio logico e potrebbe trovare applicazione”. È *questo* il punto: le varie geometrie non sono che modi differenti di presentare le relazioni tra le cose; usiamo quello che ci è più comodo.³⁵

L’intera matematica di Poincaré, la sua filosofia - e, come vedremo, anche la sua fisica - poggiano su tale principio: trova la struttura gruppale di ciò che può essere modificato e scegli la rappresentazione più comoda. Nel prendere queste libere decisioni non perdere, però, mai di vista i punti fissi, gli invarianti - ossia quelle porzioni di mondo che le nostre scelte lasciano inalterate.

Dove era, allora, Poincaré nel 1892? Astro nascente della matematica francese, si era fatto un nome per i suoi lavori che avevano fatto largo uso delle geometrie non euclidee, avevano segnato notevoli progressi nell’analisi qualitativa delle equazioni differenziali e avevano delineato un approccio sorprendentemente nuovo al problema dei tre corpi. In filosofia, in geometria e in dinamica aveva cominciato a elaborare una concezione della conoscenza che aveva un duplice obiettivo. Senza perdersi nei dettagli, individuò la libera scelta che sottende la formulazione del problema. L’adozione di un sistema di coordinate non era imposta dalla natura, ma frutto di una nostra scelta, dettata dalla nostra comodità. Analogamente, dovevamo scegliere gli schemi di approssimazione in base ai nostri scopi; persino la scelta di una determinata geometria non aveva un’importanza assoluta. L’idea di Poincaré era la seguente: usa la geometria di Euclide quando è utile; quando, invece, risulta vantaggioso impiegare una geometria non euclidea, allora fallo. Nel caso delle equazioni differenziali o dei sistemi fisici che esse rappresentavano, vi erano sempre molti modi di scegliere le variabili - di descrivere, per esempio, le linee di flusso dell’acqua che scende lungo la corrente. Importanti erano le relazioni sottostanti che rimanevano invariate anche dopo simili cambiamenti nella descrizione: i vortici in un flusso d’acqua, i nodi, i punti di sella, o gli estremi a spirale delle linee geometriche. Analogamente, la lunghezza di una linea rimane invariata quando ruotiamo il sistema di coordinate.

Questi due aspetti dell’opera di Poincaré - ciò che varia e ciò che resta fisso - emersero insieme e solo insieme possono essere compresi. Per anni, sia pure in forma diversa, Poincaré ci ha insegnato a manipolare gli aspetti flessibili della conoscenza come fossero strumenti; a scegliere la forma che rende più semplice il problema che abbiamo di fronte e a considerare le relazioni che non cambiano a seconda delle scelte fatte. Sono tali relazioni a costituire il patrimonio duraturo della conoscenza. Ciò che varia e ciò che rimane invariato costituiscono insieme i fattori che rendono possibile il progresso scientifico.

Per oltre un secolo gli studiosi hanno cercato di cogliere le radici del convenzionalismo di Poincaré. Alcuni, con buone ragioni, hanno posto l’accento sul ruolo della geometria. Come lo stesso Poincaré ebbe a ribadire più volte, tuttavia, gli enunciati matematici possono essere formulati tanto nel linguaggio delle geometrie non euclidee quanto in quello della geometria euclidea. Altri interpreti hanno indagato

le opere di autori precedenti - per esempio, Felix Klein, il grande geometra tedesco che si batté con tutte le sue forze per i differenti tipi di geometria. Oppure Sophus Lie, cui alcuni hanno fatto risalire l'idea di Poincaré di una libera scelta tra le possibili geometrie. Dopo tutto, egli aveva citato espressamente Lie tra i propri precursori e lo stesso Lie si era pronunciato chiaramente sull'arbitrarietà di molte delle scelte compiute dai matematici. Cartesio, per esempio, aveva identificato le variabili x e y mediante un punto sul piano. Ma avrebbe potuto "in maniera altrettanto valida" decidere di simbolizzare x e y tramite una linea e sviluppare la geometria a partire da tale assunzione. Inoltre, Cartesio aveva definito x e y in base a uno specifico sistema di coordinate: la x e la y si riferivano alle distanze dall'asse delle x e da quello delle y . Anche questa era una libera scelta: "Il [progresso] compiuto dalla geometria nel XIX secolo", scriveva Lie, "è stato reso possibile in larga misura poiché questa duplice arbitrarietà [...] è stata chiaramente riconosciuta come tale". Il progresso matematico era, a suo dire, dipeso dalla consapevolezza che vi erano sempre molti modi di rappresentare i concetti matematici. La scelta di una particolare rappresentazione della matematica, di questa o quella geometria, era per Lie una questione di "vantaggio e comodità". Questa fu, per riprendere le convincenti parole di uno studioso, "una delle ragioni che spinsero Poincaré ad aderire a una concezione della geometria per cui la nostra scelta delle geometrie doveva essere una scelta aperta, basata sulla comodità".³⁶ Non c'è dubbio che la sua insistenza sulla libera scelta in geometria possa essere ricondotta al tedesco Hermann von Helmholtz, uomo dalla cultura enciclopedica che cercò di chiarire i fatti alla base delle definizioni geometriche, sottolineando il ruolo centrale svolto dal movimento dei corpi rigidi nella genesi dei nostri concetti di spazio. Infine, le idee di Poincaré sul convenzionalismo matematico potrebbero essere fatte risalire anche alle innumerevoli geometrie di Bernhard Riemann, o ai lavori di uno dei suoi maestri, Charles Hermite.³⁷

La promozione di questo senso di libertà di scelta era una forma di *convenzionalismo* pedagogico (se volete) che richiamava lo stile educativo estremamente agnostico dell'*École Polytechnique*. L'astensione da qualunque adesione assoluta nei confronti di una particolare teoria era una delle caratteristiche principali delle lezioni di Alfred Cornu che Poincaré aveva seguito da studente. Ogni teoria alternativa aveva vantaggi e svantaggi; l'unico vincolo era costituito dai punti fissi sperimentali, ai quali si poneva grande attenzione. Gli invarianti della fisica (che fornivano una conoscenza oggettiva) erano rappresentati per Poincaré dalle relazioni fisse tra gli esperimenti - quelle relazioni che sopravvivevano al flusso delle teorie in perenne mutamento. Come abbiamo visto, lo stesso principio di libera scelta tra le teorie aveva ispirato l'imparziale politica di reclutamento dell'*École Polytechnique* - alcuni scienziati sostenitori dell'atomismo, altri della concezione opposta. L'astensione dall'adesione assoluta a una teoria caratterizzò gli stessi corsi di Poincaré; le sue lezioni su elettricità e ottica del 1888, 1890 e 1899, per esempio, concedevano spazio a tutte le teorie principali, di cui mettevano in evidenza vizi e virtù, lasciando agli studenti di giudicare. Anche qui ritroviamo una radice "rizomatica" del convenzionalismo.

Infine, frequentando il circolo del cognato (Émile Boutroux), Poincaré avrebbe

trovato il registro filosofico del convenzionalismo. Aperto a filosofi e a studiosi interessati alla filosofia, quel circolo lo spinse ben presto a maturare una concezione più riflessiva delle scienze matematiche. Il crudo empirismo era considerato del tutto inadeguato a rendere conto della generalità e dell'estensione della conoscenza scientifica. Il puro idealismo (la riduzione della realtà alla vita mentale) non era ritenuto in grado di spiegare la concordanza delle idee con il mondo. Traendo ispirazione dalla rinascita della filosofia kantiana in Germania, Boutroux e gli esponenti del suo circolo criticavano entrambi gli estremi, rigettando sia l'idealismo sia l'empirismo. Convinti dell'indissolubile legame tra discipline scientifiche e umanistiche, sostenevano che fossero tutte strutturate da un ruolo attivo della mente e nutrivano un forte sospetto nei confronti della metafisica pura. Quando si imbatté nei lavori di Auguste Calinon sui fondamenti filosofici della fisica, Poincaré imboccò quella via intermedia, giungendo dritto al problema della simultaneità.

Geometria, topologia, pedagogia, filosofia - ognuno di questi modi di analizzare il mondo di Poincaré ci dice qualcosa circa il significato che egli attribuiva alla "libera scelta" scientifica. Non è un caso che, intorno al 1890, egli cominciasse a impiegare regolarmente un nuovo nome per indicare la "libera scelta", dichiarando (come già nel 1887) che gli assiomi geometrici non erano né fatti sperimentali né (come avrebbero voluto alcuni kantiani) verità scolpite in anticipo nella mente umana. In un articolo del 1891, egli riassunse in una frase, più volte ripetuta, la sua nuova concezione degli assiomi della geometria: "*Sono convenzioni*".

Che cosa pensare della domanda: La geometria euclidea è vera? Essa non ha alcun senso.

Così come non lo ha la domanda se il sistema metrico sia vero e le antiche misure false; se le coordinate cartesiane siano vere e le coordinate polari false. Una geometria non può essere più vera di un'altra; può soltanto essere *più comoda*. Ora, la geometria euclidea è e resterà sempre la più comoda.³⁸

Se lo statuto degli assiomi geometrici era stato in precedenza paragonato espressamente a quello dei termini di un linguaggio che possono essere liberamente scelti, nel passo appena citato esso è chiarito tramite il riferimento alla libertà che il matematico o il fisico hanno sempre nell'adozione di un sistema di coordinate. La novità consiste nel fatto che Poincaré dipinge la scelta degli assiomi euclidei o non euclidei non soltanto come una mera scelta tra gruppi, ma come una scelta tra il sistema arbitrario di metri e chilogrammi e il sistema arbitrario di piedi e di libbre.

Per apprezzare quest'aspetto dell'uso da parte di Poincaré del termine "convenzione", dobbiamo riconoscere che il riferimento a pesi e a misure reca in sé la traccia di un intero mondo di convenzioni. Al contempo, come vedremo, l'interesse di Poincaré per metri e secondi non può essere considerato un' "influenza esterna", che avrebbe determinato il suo lavoro scientifico e filosofico nello stesso modo in cui un magnete nascosto riorienta i fili di ferro sopra di esso. "Radici" e "influenze" sono termini troppo deboli ed esterni per catturare l'impegno deciso di Poincaré nella stipulazione pratica delle convenzioni planetarie.

Il mondo del tempo e dello spazio decimalizzati e convenzionalizzati era per lui tutt'altro che astratto. La sua attività fiorì nella (e contribuì alla) intricata matassa parigina, anzi mondiale, di cavi, convegni e trattati internazionali. Era, dopotutto, un consumato uomo dell'*École Polytechnique* capace di muoversi con disinvoltura sia

nelle profondità di una miniera di carbone sia nelle alte sfere della stabilità astronomica. Ma per rendere visibile il meccanismo degli orologi, dei regoli e dei cavi - e, soprattutto, per comprendere come ebbe origine alla fine del XIX secolo la concezione convenzionale della simultaneità - è necessaria una prospettiva più ampia. Dovremo andare avanti e indietro, dentro e fuori, muovendoci tra i dettagli dei lavori filosofici, matematici e fisici e il processo su vasta scala della convenzionalizzazione del tempo e dello spazio, cui lo stesso Poincaré prese parte.

Dentro, nel preciso oscillare dei pendoli dell'orologio maestro; *fuori*, verso i cavi telegrafici sottomarini che attraversavano gli oceani. *Dentro*, a seguire le minute dei compilatori di orari ferroviari, dei gioiellieri e degli astronomi; e di nuovo *fuori*, per analizzare la ricalibrazione mondiale dei fusi orari. In un'indagine del genere, la luce della storia non può che oscillare tra le differenti scale utilizzate dall'attività tecnologica, scientifica e filosofica. Tra il 1870 e il 1910 le convenzioni spaziali e temporali scintillavano con un'opalescenza critica.

3

LA MAPPA ELETTRICA DEL MONDO

STANDARD DI SPAZIO E TEMPO

Parigi, Hotel des Affaires étrangères, 20 maggio 1875, ore 14. Rappresentati dai loro decorati plenipotenziari, diciassette nomi stanno per essere posti in calce a un trattato, con una parata di titoli altisonanti: “Sua Maestà, l’Imperatore di Germania”, “Sua Maestà, l’Imperatore d’Austria-Ungheria”, “Sua Eccellenza, il Presidente degli Stati Uniti d’America”, “Sua Eccellenza, il Presidente della Repubblica Francese,” “Sua Maestà, lo Zar di tutte le Russie”... Siamo alla solenne cerimonia della firma della Convenzione del metro. Dopo anni di negoziati, le Alte Parti in Causa avevano deciso di istituire un Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure. I nuovi prototipi del metro e del chilogrammo che l’Ufficio era incaricato di certificare avrebbero soppiantato la miriade di misure nazionali in competizione tra loro e stabilito una relazione tra questi sistemi e tutti gli altri, confrontando i risultati con gli standard utilizzati per disegnare mappe della Terra.

Nella *convenzione*, la diplomazia incontrava la scienza. Nel 1869, il Duca Louis Decazes, ministro degli esteri francese, aveva organizzato una conferenza diplomatica sull’argomento, invitando tra gli esponenti degli altri paesi non solo politici, ma anche eminenti scienziati, come l’astronomo tedesco Wilhelm Forster, all’epoca direttore sia dell’Ufficio dei Pesi e delle Misure sia dell’Osservatorio di Berlino. Nel marzo 1875 i lavori erano giunti a un punto tale che Decazes poteva tranquillamente cancellare dall’agenda le questioni scientifiche, di cui gli intervenuti non avevano che “una competenza relativa”, per concentrare l’attenzione su “questioni d’ordine politico e convenzionale [*ordre conventionnel*] “, di cui essi avevano “competenza assoluta”: le conclusioni cui sarebbero giunti avrebbero costituito la base per una legislazione vincolante a livello internazionale. Già in precedenza erano state realizzate convenzioni che coniugavano tecnologie scientifiche e legali - per esempio, quella stabilita nel 1865 per la regolamentazione del sistema telegrafico. In realtà, dozzine di convenzioni avevano avuto lo scopo di smussare gli scontri tra i vari paesi in materia di commercio, poste e colonizzazione. Nel caso del sistema metrico, ancor più vitale dell’accordo sul telegrafo, i delegati erano giunti a un “contratto internazionale” che piaceva sia agli scienziati sia agli industriali e ai politici: un documento legale che avrebbe regolato ogni cosa, dall’impeccabile precisione dei laboratori fisici sino al fumo e al vapore delle fabbriche.¹

Se Decazes parlava in nome della diplomazia, Jean-Baptiste-André Dumas, chimico organico, dal 1868 segretario perpetuo dell'*Académie des Sciences*, lo fece in nome dell'entusiasmo scientifico francese. Come presidente della speciale commissione (scientifica) del metro, toccava a lui rivolgere le raccomandazioni ai colleghi. Alternando sintesi e manovre politiche, egli si era presentato ai delegati per sostenere l'istituzione a Parigi di un ufficio permanente investito dell'autorità di fissare, conservare e diffondere gli standard internazionali. Gli premeva, soprattutto, giustificare il metro universale quale standard valido per l'industria e la scienza, per la Francia e il mondo intero. A suo dire, chiunque avesse messo piede all'Esposizione Universale di Londra del 1851, si sarebbe reso subito conto del "caos" che regnava tra i vari sistemi nazionali. Per confrontare pesi e misure propri di ogni paese occorreavano calcoli noiosissimi. D'altro canto, le successive esposizioni avevano mostrato che il sistema metrico andava sempre più diffondendosi. Ovunque la gente non ne poteva più di misure discordanti; era ansiosa di abbattere le barriere intellettuali tra i popoli. Per Dumas, come per molti tra i decani della scienza francese, l'appello alla creazione di standard internazionali sarebbe stato accolto da tutti "gli spiriti illuminati". Dopo avere adottato il sistema metrico nei laboratori di chimica e di fisica, molti scienziati lo diffondevano dalle loro cattedre. Fabbriche, imprese di costruzione, telegrafi e ferrovie: tutti si erano impadroniti del metro. Era venuto dunque il momento che anche l'amministrazione pubblica si impegnasse a sostenerne l'opera di razionalizzazione.

Dumas ribadì l'importanza dei decimali. Per gli uomini di scienza, pura o applicata che fosse, era proprio il carattere decimale del sistema metrico a risultare decisivo. Dodici pollici in un piede, tre piedi in una iarda - né un idraulico né un fisico potevano apprezzare un simile guazzabuglio. "Quanto all'origine geodetica del sistema metrico", l'orgoglio della Rivoluzione francese, al momento "essa non ha alcuna rilevanza per il commercio, l'industria e la stessa scienza. " Quando fu adottato nel 1799, si supposeva che il metro corrispondesse esattamente alla decimilionesima parte di un quarto della circonferenza terrestre. Dumas rassicurò gli astanti, dichiarando che coloro che ora proponevano il sistema metrico non avevano tale pretesa; chi era presente all'assemblea sapeva perfettamente che le dimensioni della Terra non potevano essere misurate con la precisione che sarebbe stata necessaria per stabilire uno standard internazionale. La ragione per adottare il sistema metrico consisteva per Dumas nel fatto che esso divideva le lunghezze in unità decimali - ed esse erano le più sensate. Lo dicevano sia gli scienziati puri sia gli operai qualificati. Per diffondere il nuovo sistema era necessario un centro, il quale doveva essere "neutrale, decimale, internazionale". Doveva stare, *ça va sans dire*, a Parigi.²

Dumas ricordò ai delegati che se gli standard metrici erano diventati internazionalmente precisi, era perché la Francia rivoluzionaria aveva progettato il sistema in maniera che rispondesse a tale scopo. In passato, gli antichi Ebrei avevano posto i loro prototipi di misurazione nel Tempio. I Romani li avevano conservati in Campidoglio, mentre i Cristiani li misero al sicuro in chiesa (fu per questo che lo standard di Carlo Magno mantenne la sua purezza originaria). Per ottant'anni, gli *Archives* avevano assolto a tale compito in Francia, preservando i metri campione sin dai tempi della Rivoluzione. Ora, però, che avevano deciso di rendere il metro uno

standard davvero internazionale, le parti in causa ritenevano che quello della Rivoluzione non fosse né abbastanza forte né sufficientemente invariabile per servire da prototipo per le misure di tutto il mondo.

La firma della Convenzione avviò, più che concludere, il processo di diffusione del metro. Burocrati e scienziati ricorsero a manovre politiche, pressioni e negoziati affinché i rispettivi paesi applicassero lo schema. Alcuni dei maggiori ricercatori sperimentali in Europa e negli Stati Uniti non fecero mancare il loro sostegno: per esempio, Armand Fizeau, che aveva misurato il “trascinamento” dell’etere da parte dell’acqua, o l’americano Albert Michelson, che inventò l’interferometro, uno strumento capace di misurare la lunghezza con la precisione di una frazione della lunghezza d’onda della luce visibile. Per quattordici anni, gli ingegneri francesi e i metallurgici britannici, premettero con martellante insistenza perché si adottasse una robusta e durevole lega di platino-iridio.

Mentre una ditta britannica trasformava queste barre dure e purissime in metri con un’inflexibile sezione a “X”, i francesi si concentravano nel produrre un enorme “comparatore universale” (vedi la figura 3.1), che avrebbe consentito, mediante una rigorosa procedura, di riprodurre una lunghezza standard su un’altra barra con la precisione di due decimillesimi di millimetro. Fu un lavoro accurato e snervante. Quando gli operai britannici consegnavano le loro preziose barre ai francesi, l’addetto collocava sia il metro campione sia la barra vergine sul ponte del comparatore. Servendosi di un microscopio (M), segnava esattamente la lunghezza di un metro allineando una marcatura sul campione. Attivava poi una leva che metteva in azione un diamante, il quale tracciava sulla barra vergine una sottile linea che corrispondeva precisamente alla marcatura. Compiere le suddivisioni era altrettanto difficile. Si collocavano due microscopi a una distanza, diciamo, di dieci centimetri. Gli operatori marcavano tale lunghezza. Facendo scorrere la barra, incidevano su di essa una seconda lunghezza di dieci centimetri, e così via. Per preparare le trenta sbarre standard che i delegati internazionali si sarebbero portati a casa, gli operatori dovettero ripetere la procedura tredicimila volte. Bastava il minimo errore nell’azionare la punta di diamante e bisognava ricominciare daccapo a levigare la barra.³

Finalmente, sabato 28 settembre 1889, due anni dopo che Poincaré era stato eletto all’Accademia delle Scienze, diciotto rappresentanti dei vari paesi si riunirono a Breteuil per sanzionare definitivamente la nascita del metro. Il presidente della Conferenza scrutinò i voti e, constatata l’unanimità, dichiarò: “Questo prototipo del metro rappresenterà d’ora in poi, alla temperatura del ghiaccio fondente, l’unità di misura della lunghezza”, mentre “questo prototipo [il chilogrammo] sarà considerato d’ora innanzi l’unità di misura della massa”. Tutti gli standard erano esposti nella stanza in cui si svolgeva la riunione: metri rivestiti da tubi protettivi, chilogrammi racchiusi in campane di triplo vetro. Come da copione, ogni delegato estrasse cerimoniosamente da un’urna un biglietto che assegnava al suo paese uno dei metri, e nel ritirarlo firmò l’opportuna ricevuta.

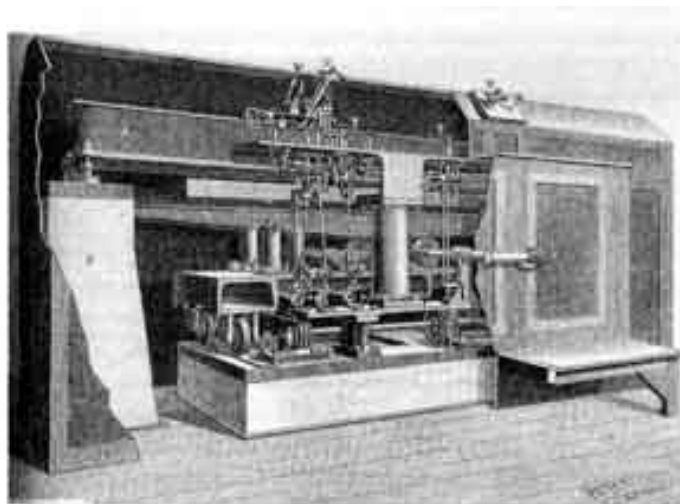


Figura 3.1 Comparatore universale. La macchina serviva a tracciare linee di lunghezza precisa per le copie in platino-iridio del metro standard M. Per ingegneri, fisici, politici e filosofi, specialmente in Francia, il successo internazionale dell'unità di lunghezza standardizzata servì da modello per quella **che** sarebbe stata, nelle loro speranze, la decimalizzazione e la standardizzazione del tempo. *Fonte: Guillaume (1890, p. 21).*

Ma nonostante l'accurata regia, il programma subì all'improvviso una brusca interruzione. Per compiere l'atto più importante - che consisteva nel depositare il metro in una cassaforte sotterranea - occorreavano le tre chiavi necessarie ad aprire il caveau. Una di queste avrebbe dovuto essere nelle mani del direttore degli Archivi francesi, ma così non era. Il presidente della conferenza suggerì di chiedere istruzioni al ministro del commercio francese, scatenando le energiche obiezioni dei delegati. L'astronomo svizzero Adolph Hirsch insistette che la conferenza era internazionale, non francese. Non ci si sarebbe perciò dovuti rivolgere a un ministro come quello del commercio. Era fuori discussione: Hirsch e i suoi colleghi avrebbero trattato con la Francia solo attraverso il suo ministro degli affari esteri. La diplomazia riuscì, a quanto pare, a far saltar fuori la chiave mancante.

Nel pomeriggio (per essere precisi, alle 13.30), la commissione incaricata di depositare i prototipi internazionali si riunì nel seminterrato dell'Osservatorio di Breteuil. Qui i delegati certificarono che il prototipo internazionale M sarebbe stato da quel momento custodito in una cassetta rivestita internamente di velluto, alloggiata in un cilindro di bronzo chiuso ermeticamente con delle viti, e poi messa sotto chiave nel caveau. Oltre a M, i custodi degli standard preparano due "testimoni" (due barre metriche, non due delegati!) per la sepoltura. Questi osservatori di metallo avrebbero testimoniato, tramite le condizioni dei loro corpi, qualunque cosa fosse accaduta a M. Nel corso della stessa cerimonia funebre, i delegati ratificarono il chilogrammo, K, rinominandolo ed elevandolo a standard universale della massa. Anch'esso trovò il suo eterno riposo nel caveau d'acciaio sotterraneo in compagnia dei suoi testimoni. Con due chiavi, e sotto lo sguardo attento dei delegati, il direttore dell'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure chiuse la cassetta; con una terza chiave serrò la porta interna del seminterrato; infine, con una quarta e una quinta chiave sprangò la porta esterna. A conclusione del solenne evento, il presidente della conferenza pose le ultime chiavi in tre buste separate e sigillate: una per il direttore dell'Ufficio Internazionale, una per la guardia generale degli Archivi Nazionali, e l'ultima per il presidente della Commissione Internazionale. Per penetrare nel *sanctum sanctorum* ci

sarebbero da allora volute tutte e tre le chiavi del seminterrato.⁴

Fu un momento straordinario. M, l'oggetto forgiato e misurato con più precisione nella storia, il più accurato mai prodotto dall'uomo, era diventato, dopo la sua sepoltura, anche il più universale. Era in suolo francese, e tuttavia non apparteneva alla Francia; religiosamente venerato, ma forte della sua razionalità; assolutamente materiale, eppure completamente astratto. In un'epoca in cui "la famiglia, il paese, la chiesa" erano diventati "la famiglia, il paese, la scienza", K e M rappresentavano gli emblemi perfetti della Terza Repubblica: seppelliti nella loro individualità, ascesi al cielo nella loro universalità. A nessuno sfuggiva la risonanza simbolica del metro. Già nel 1876 la Repubblica aveva celebrato il nuovo metro coniando una medaglia dalla ricca iconografia in onore del metro campione, degli scienziati che lo stavano costruendo e del metro originale che era stato scelto nel Germinale dell'Anno III.⁵ Alla ratifica della Convenzione (1889), i giornali francesi ricordarono con "patriottica soddisfazione" come, non molti anni dopo il "disastro del 1870", gli scienziati stranieri, persino quelli che avevano avversato la precisione francese, ne celebravano ora il trionfo.⁶

Con la Convenzione del metro ancora fresca d'inchiostro, i delegati cominciarono a pianificare nuovi standard da costruire sul modello di M. Le convenzioni tecnico-scientifiche non solo consentivano al paese (o ai paesi) che le avevano promosse di accumulare un capitale simbolico, ma producevano benefici reali per le esportazioni, spianando il terreno al confronto tra le nazioni. Inoltre, rispondevano alle esigenze sollevate dall'improvvisa crescita della concorrenza tra i prodotti industriali nelle esposizioni internazionali, il "caos" commerciale cui si era riferito Dumas. Infine, mediavano l'incrociarsi delle linee e degli orari ferroviari; quando due treni si scontravano, si attribuiva immediatamente la colpa alla loro assenza. Per gran parte della prima metà del XIX secolo i sistemi regionali (e persino quelli nazionali) di comunicazione, di produzione e di scambio erano stati liberi di crescere in relativo isolamento. Ma negli ultimi decenni dell'Ottocento, essi entrarono in conflitto su una miriade di confini nelle colonie, nei mercati e nelle fiere. Fu per attenuare tali frizioni che vennero ideate le convenzioni. Non erano che pezze cucite sui brandelli delle frontiere in cui s'incontravano le reti telegrafiche, elettriche e ferroviarie.

I governi stipularono convenzioni per contenere la frenetica proliferazione di mappe incompatibili, dovuta ai navigatori che cercavano di tracciare le rotte ai confini dei domini coloniali; nonché per facilitare il movimento delle dinamo, dei treni, delle macchine a vapore. Regolamentazioni del genere richiesero strumenti sempre più sofisticati, e il loro numero crebbe rapidamente: convenzioni sulla guerra, la pace, l'energia elettrica, la temperatura, la lunghezza, il peso. E, come vedremo, anche sul tempo.

Il dibattito sui nuovi standard giunse al culmine negli anni successivi all'elezione di Poincaré all'Accademia delle Scienze, avvenuta nel gennaio 1887. I membri dell'Accademia cominciarono a interessarsi ai dettagli della metallurgia delle barre con cui venivano costruiti i metri; affascinati dal metro, escogitarono nuove convenzioni, come quella indicata da uno dei più eminenti astronomi francesi che, in un articolo inviato all'Accademia, aveva proposto di utilizzare il metro come modello per la decimalizzazione della moneta. Quando, poco dopo la ratifica del metro, un

contestatore scrisse all'Accademia per mettere in discussione la fedeltà delle nuove barre ai vecchi standard degli Archivi, l'astronomo berlinese Forster pontificò: “La Commissione Internazionale dei Pesi e delle Misure [trova] inaccettabile consentire che la base del sistema metrico dipenda da incerte e incessanti correzioni, ora che essa è stata materialmente definita dal prototipo internazionale”.⁷ M era ormai l'unico a dettar legge.

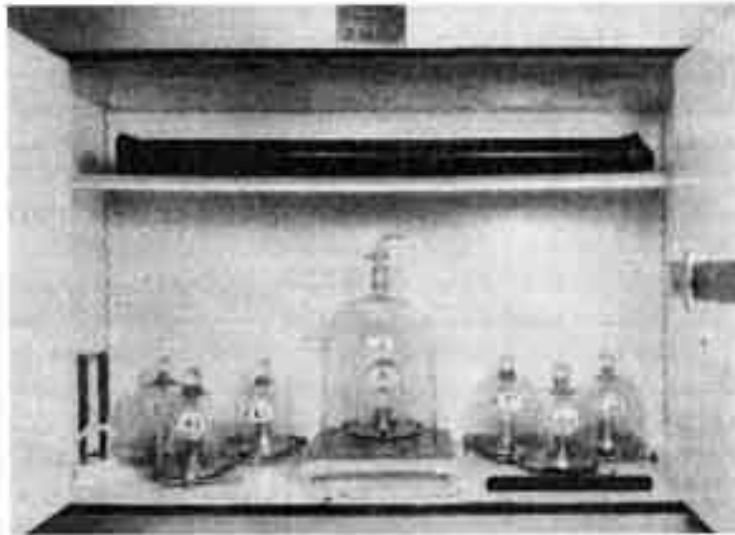


Figura 3.2 La sepoltura del metro. Nella cerimonia del 1889, che “sanzionò” il metro e il chilogrammo standard a Breteuil (nei pressi di Parigi), i più accurati oggetti fisici mai prodotti vennero seppelliti, in modo da poter funzionare, all'esterno, da misure universali. Qui M giace nella sua cassa protettiva di metallo sullo scaffale superiore del caveau sigillato da tre porte, mentre K presiede ai suoi sei “testimoni”, tre per ciascun lato. Fonte: *Le Bureau International des Poids et Mesures* (1875-1975, p. 39).

La continua pressione francese (esercitata in parte per principio e in parte come contromisura alla forza dell'impero britannico) portò a un'estensione del concetto di *convenzione*, al punto da concentrare in una sola parola una triplice risonanza. *Convenzione* evocava la Convenzione rivoluzionaria dell'anno II, che aveva introdotto il sistema decimale per la misurazione dello spazio e del tempo; *convenzione* designava il trattato internazionale, lo strumento diplomatico che la Francia, più di ogni altro paese, aveva portato alla ribalta nella seconda metà del XIX secolo. Più in generale, *convenzione* è una quantità o relazione fissata da un ampio accordo. Una convenzione, fissata per convenzione, nella tradizione della Convenzione. Quando mani inguantate calarono il levigato metro campione M nel caveau di Parigi, i francesi avevano letteralmente in pugno le chiavi di un sistema universale di pesi e misure. Diplomazia e scienza, nazionalismo e internazionalismo, specificità e universalità convergevano nella secolare santità del caveau.

Ma se la Francia era riuscita a rinchiudere spazio e massa nel seminterrato superprotetto di Breteuil, ben più elusivo doveva dimostrarsi il tempo. All'inizio degli anni Ottanta dell'Ottocento, una rivista francese lamentava che gli orologi fossero straordinariamente recalcitranti, poiché ciascuno aveva una propria “personalità” che sfuggiva a qualsiasi tentativo di regolarizzazione mediante correzioni basate sulla temperatura. Non che gli astronomi e i fisici francesi non ci avessero provato. In tutta Europa, quartieri, città, regioni e paesi si sforzavano di

standardizzare e unificare i loro orologi. A Parigi e a Vienna, verso la fine degli anni Settanta, macchine a vapore industriali immettevano aria compressa in tubi sotterranei, modulandone poi la pressione, in maniera da regolare pneumaticamente gli orologi in giro per la città. I clienti potevano aggirarsi nei negozi pneumatici per scegliere i loro quadranti preferiti dell'esattezza vittoriana.



Figura 3.3 L'unificazione pneumatica del tempo: la sala di controllo (1880 circa). Dalla stanza di controllo nella *Rue du Télégraphe* a Parigi, le tubature pompavano il tempo sotto le strade cittadine per sincronizzare gli orologi in ogni quartiere della metropoli. *Fonte: Compagnie Générale des Horloges Pneumatique, Archives de la Ville de Paris, VONC 20.*

All'inizio, il ritardo di quindici secondi, dovuto al tempo necessario all'impulso pressurizzato per correre sotto le strade di Parigi, sembrava nulla. Tuttavia, nel 1881, la sensibilità nei confronti del tempo era cresciuta a sufficienza perché anche questo minuscolo ritardo (per il quale gli orologi che si trovavano in punti diversi della rete sotterranea di tubi differivano l'uno dall'altro e da quello dell'Osservatorio) divenisse avvertibile. Gli astronomi colsero il problema, e lo stesso fu per gli ingegneri dei ponti e delle strade. Presto il grande pubblico li seguì. Gli ingegneri cercarono dapprima di minimizzare la discrepanza: "Questa piccola discordanza, indiscutibile sul piano teorico, ha poca importanza pratica, dal momento che abbiamo a che fare solo con orologi che indicano i minuti e in cui le lancette dei minuti procedono per salti che non permettono ulteriori suddivisioni, neppure approssimativamente". I custodi degli orologi si affrettarono ad aggiungere che avrebbero corretto l'orologio dell'Osservatorio per compensare i quindici secondi che ci metteva l'impulso per raggiungere i punti più lontani della rete. Per essere più precisi, montarono contrappesi ritardanti su ciascun orologio pneumatico basati sulla sua distanza dal centro. In questo modo, rassicuravano i loro lettori, "la discrepanza verrà praticamente corretta".⁸

Da tale ritratto emergono due sorprendenti aspetti della coordinazione del tempo. In primo luogo, la consapevolezza del tempo si era acuita. Prima del XIX secolo, gli orologi non avevano di norma neppure le lancette dei minuti.⁹ Ora, una discrepanza di quindici secondi poteva spingere gli ingegneri a modificare gli orologi pubblici. In secondo luogo, il tempo di trasmissione - persino di un'onda di pressione che viaggiava alla velocità del suono - appariva a specialisti e persone comuni come un problema che richiedeva una correzione. Ma se il largo pubblico di fine XIX secolo

pretendeva che si regolassero i secondi, gli astronomi erano da molto tempo avvezzi a una precisione assai maggiore. Urbain Le Verrier, direttore dell'Osservatorio di Parigi e co-scopritore del Pianeta Nettuno, aveva a lungo propugnato l'unificazione elettrica del tempo. La sincronizzazione degli orologi con mezzi pneumatici avrebbe avuto un grado di inaccuratezza assurdo per l'astronomia dell'epoca. Nel 1875, spinto dal ruolo avuto dall'Osservatorio nell'unificazione del sistema dei pesi e delle misure, Le Verrier propose di standardizzare e unificare il tempo parigino per mezzo dell'elettricità, non diversamente da quanto fatto dagli astronomi nelle varie stanze del loro Osservatorio. I fisici Cornu e Fizeau, insieme con gli astronomi dell'Osservatorio, aderirono all'idea. Si trattava di un progetto perfettamente in linea con la filosofia dell'*École Polytechnique*. Le Verrier non perse tempo nel cercare il sostegno del Dipartimento della Senna. Insieme con i suoi astronomi insisteva che l'obiettivo era di estendere l'ordine interno dell'Osservatorio all'intera città: "Propongo alla città di Parigi di regolare gli orologi pubblici mediante un'azione sincronizzata e con una precisione superiore a quella di cui ci siamo accontentati abitualmente. [...] Se la città di Parigi sarà d'accordo [...] avrà così l'opportunità di conferire un nuovo e produttivo slancio all'arte della costruzione degli orologi che ha reso famosi i nomi degli artigiani francesi" ¹⁰

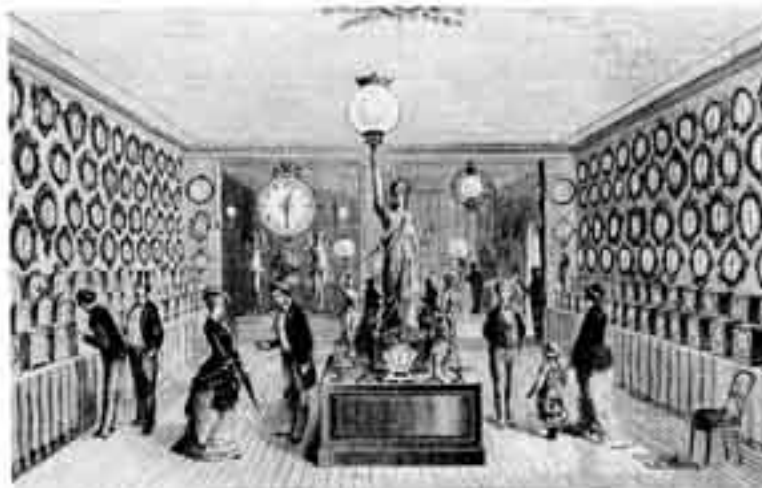


Figura 3.4 L'unificazione pneumatica del tempo: la sala dei quadranti (1880 circa). Qui i clienti - sia commercianti sia privati - potevano acquistare orologi che registravano gli sbuffi d'aria, perfettamente scanditi, che ricevevano dai tubi pneumatici di Parigi. *Fonte: Compagnie Générale des Horloges Pneumatique, Archives de la Ville de Paris, VONC 20.*

Parigi fu d'accordo, insediando prontamente un'illustre commissione deputata alla direzione dei suoi orologi. Al programma di standardizzazione del tempo avrebbe partecipato Gustave Tresca; fu lui a sovrintendere alla produzione dei metri e dei pesi campione che avrebbero onorato con la loro presenza il sotterraneo di Breteuil. Vi sarebbe stato pure Edmond Becquerel, uno dei maggiori fisici francesi (fu il padre dello Henri Becquerel che deve la sua fama alla radioattività). Il celebre architetto Eugène Viollet-le-Duc entrò nella commissione, per via dei suoi rinomati restauri (coordinare i grandiosi orologi delle chiese presentava enormi problemi architettonici e strutturali). Tra i commissari vi fu anche Charles Wolf, astronomo dell'Osservatorio di Parigi e inventore di gran parte del suo sistema di coordinazione elettrica del tempo. Gli astronomi e i loro alleati lanciarono un concorso per la costruzione di orologi e ottennero presto un sistema sperimentale in grado di funzionare.

La commissione consegnò il suo rapporto alla città di Parigi nel gennaio 1879. Le Verrier era morto; non, però, il suo progetto. Una dozzina di orologi sincronizzati sarebbero stati disseminati per Parigi, collegati da cavi telegrafici all'orologio madre dell'Osservatorio. Costruito sul modello di precisione coordinata realizzato dagli astronomi, tale sistema prevedeva che ciascuno degli orologi secondari fosse regolato in maniera da essere avanti di quindici secondi ogni ventiquattro ore. Un impulso di controllo partito dall'Osservatorio guidava un elettromagnete in ciascun orologio pubblico e tale elettromagnete rallentava il pendolo, portando l'orologio lontano in sincronia con l'orologio madre. Ciascuno orologio secondario trasmetteva il tempo elettricamente, regolando altri orologi pubblici nei municipi, nelle piazze principali e nelle chiese. Da allora in poi, si leggeva nel rapporto, vi sarebbero stati quaranta orologi pubblici che annunciavano l'ora esatta con un errore massimo di mezzo minuto - anzi, mezzo *secondo* subito dopo aver ricevuto il segnale di correzione. Tuttavia, vi erano limiti spaziali e legali oltre i quali i cavi temporali dell'Osservatorio non avrebbero potuto andare:

Non abbiamo incluso nella lista degli orologi da regolare nessuno di quelli che appartengono alle ferrovie. Non è che abbiamo sottovalutato l'enorme interesse che il pubblico avrebbe nel sapere che questi orologi sono in accordo tra loro e con quelli del resto della città. Ma [...] la commissione ha ritenuto che sarebbe stato imprudente impegnare la città [...] in un servizio tanto complesso, in cui sono in gioco grossi interessi, e in cui la responsabilità in caso di un incidente determinato dalla regolazione degli orologi potrebbe essere assai gravosa. Non vi sono dubbi, tuttavia, che le compagnie ferroviarie, allorché vedranno tutti gli orologi della città indicare regolarmente l'ora, e sempre la stessa ora, si accorderanno spontaneamente con l'ora dell'Osservatorio. Quel giorno, l'unificazione del tempo a Parigi diverrà l'unificazione del tempo in tutta la Francia.¹¹

Immagine mirabile: l'Osservatorio avrebbe teso le sue mura finché il sistema di Le Verrier non avesse abbracciato l'intera Parigi. Un orologio al centro di precisione del paese si sarebbe moltiplicato finché ogni gioielliere, ogni cittadino, non avesse avuto a un tiro di schioppo l'ora degli astronomi. I treni, e infine tutta la Francia, avrebbero seguito l'esempio. Grazie a questa serie di riflessioni simboliche - una stanza degli specchi temporale -, il pendolo regolato astronomicamente di Le Verrier avrebbe fissato l'ora per tutti gli orologi del paese.

Ma gli orologi non funzionarono mai. Il ghiaccio nei canali sotterranei danneggiò subito i cavi in più punti: la corrente elettrica finiva per agire sugli orologi anche senza l'intervento dell'orologio madre. Non vi era orologio in tutta Parigi che non segnasse la sua particolare ora. Tra l'imbarazzo e la rabbia, la commissione accusò l'ingegnere capo, dando il via a un reciproco scaricabarile circa la concessione dei brevetti e l'evidente incapacità degli orologi pubblici di indicare qualcosa che assomigliasse all'ora esatta. Appellandosi alla commissione perché utilizzasse le sue invenzioni più recenti, l'ingegnere capo accusò gli orologi d'essere accurati solo quando ricevevano il segnale di regolazione: "Nel guardare il quadrante degli orologi, l'osservatore deve avere in ogni momento l'assoluta *certezza* che l'ora segnata sia quella esatta, con un margine d'errore, nel peggiore dei casi, di qualche secondo, *non di cinque minuti*"¹²

Tra il 1882 e il 1883 fioccarono rapporti che informavano le autorità del fatto che gli orologi di un *arrondissement* dopo l'altro non avevano una guida elettrica appropriata da parte dell'Osservatorio. Alla primavera del 1883 nessun orologio pubblico legato ai regolatori secondari riceveva la minima corrente.¹³ I commentatori francesi riconobbero che il loro paese aveva fallito nel tentativo di governare l'unificazione del tempo delle città. Al danno si aggiunse la beffa: toccò a Londra, la patria del piede di dodici pollici, guidare la standardizzazione del tempo.¹⁴

Dopo essersi coperto di gloria con la razionalità del metro, l'establishment scientifico francese si sentì profondamente ferito dal fallimento nella sincronizzazione del tempo. Nel 1889 il direttore dell'Osservatorio fece appello alle autorità cittadine perché ponessero fine al caos temporale: "Il consiglio dell'Osservatorio è rimasto più volte sconcertato dal modo in cui la distribuzione dell'ora esatta ha funzionato a Parigi. I risultati ottenuti finora sono, in effetti, ben lungi dall'essere soddisfacenti, al punto che, date le numerosissime proteste, il direttore dell'Osservatorio ha dovuto chiedere che venisse eliminato ogni riferimento all'ora dell'Osservatorio".¹⁵ All'Esposizione Universale del 1900, gli stranieri si sarebbero resi conto della spiacevole situazione. La municipalità e l'Osservatorio non erano in grado di costruire un sistema "degno di una città come Parigi"? In quelle condizioni appariva sempre più evidente quanto fosse improbabile per le ferrovie imitare "spontaneamente" il sistema Osservatorio-Città, come aveva sognato Le Verrier.

ORE, TRENI E TELEGRAFI

Non che i ferrovieri francesi non volessero coordinare il tempo. Come il resto dei parigini, erano ipnotizzati dal trionfo del metro campione ancor prima della sua santificazione nel 1889. La *Revue Générale des Chemins de Fer* diede inizio, nel 1888, a una discussione sul tempo facendo esplicito riferimento allo straordinario successo della riforma metrica:

Il sistema metrico, una delle più gloriose creazioni del genio francese, ha già conquistato mezzo mondo e più nessuno dubita del suo pieno trionfo. I suoi creatori vi hanno aggiunto un nuovo calendario, ma non si sono preoccupati di fissare con precisione l'inizio o la metà del giorno [...], questioni che sembrano risolte dalla mera osservazione dell'avanzamento del Sole. È alla rapidità delle comunicazioni via treno e telegrafo che si deve l'idea di fissare, in maniera più o meno arbitraria, l'ora di una località, da imporre poi a tutte le altre, così da creare un'ora normale o nazionale. Ciò ha dato luogo a un nuovo tipo di confusione, simile a quella determinata in passato dalla molteplicità di pesi e misure nazionali.¹⁶

In Francia, come in molti altri paesi, ogni sistema ferroviario usava l'ora della città principale che serviva. Man mano che le linee si allontanarono da Parigi raggiungendo località sempre più periferiche, le ore locali vennero progressivamente abbandonate, finché, nel 1888, l'ora ferroviaria dell'intera nazione fu fatta coincidere con quella della capitale. I quadranti degli orologi nei cortili e nelle sale d'attesa delle stazioni segnavano l'ora esatta di Parigi, mentre gli orologi delle piattaforme erano

indietro, rispetto agli orologi esterni, di tre e qualche volta anche di cinque minuti, per dare ai viaggiatori un margine di errore. I passeggeri che aspettavano nelle stazioni ferroviarie fuori Parigi - a Brest o a Nizza, per esempio - facevano così esperienza di tre ore diverse: l'ora locale della loro città, l'ora di Parigi (nella sala d'attesa) e un'ora leggermente sfasata in prossimità dei binari. (L'ora ferroviaria era avanti di ventisette minuti rispetto a quella di Brest e indietro di venti minuti rispetto a quella di Nizza.) La *Revue* analizzò gli schemi orari degli altri paesi, esaminando le soluzioni una per una. La Russia aveva unificato il tempo nel gennaio 1888. La Svezia aveva regolato i propri orologi su un'ora dopo rispetto a quella di Greenwich. La Germania arrancava tra le molteplici ore dei *Länder*.

“Da nessun'altra parte la questione del tempo è stata posta in maniera più incalzante che nella estesa rete ferroviaria degli Stati Uniti e nei possedimenti inglesi in Nord America.” Sulla scorta della decisione presa dalle ferrovie nordamericane nell'aprile 1883 di sincronizzare tutti gli orologi per mezzo di fusi orari, gli americani e i canadesi avevano scelto l'ora di Greenwich come ora zero, tracciando enormi sezioni longitudinali che andavano dall'”ora Intercoloniale” dell'Est fino all'”ora del Pacifico” dell'Ovest. “Aggiungiamo, prima di lasciare l'America”, concludeva la rivista delle ferrovie francesi, “che i diagrammi e le mappe colorate, che [gli americani] offrono al pubblico, ci sembrano, per la loro chiarezza e per l'eleganza della loro stampa, notevolmente superiori a quello che abitualmente vediamo nei nostri paesi di antica civilizzazione.” Stando alla *Revue*, allorché i delegati scientifici internazionali si riunirono a Washington D.C., nell'ottobre del 1884, i ferrovieri avrebbero ricordato loro che “ogni cambiamento sarebbe [stato] inutile e inopportuno”. La posta in gioco era chiara: potevano i francesi - poteva il mondo intero - adottare un “sistema americano generalizzato”? Si trattava per la *Revue* di una questione che non poteva essere lasciata nelle sole mani di geografi, geodetici e astronomi.¹⁷ Pensando agli alteri astronomi parigini, l'autore dell'articolo scriveva: “Soltanto quando le ferrovie e i telegrafi avranno realizzato la riforma [del tempo] potremo sperare di vedere il loro esempio seguito da altre amministrazioni e municipalità. Solo allora, come in Nord America, la riforma sarà completa e si percepiranno i suoi benefici”.¹⁸

All'avvio della riforma del tempo, i ferrovieri, i telegrafisti e gli astronomi francesi guardavano alla Gran Bretagna e agli Stati Uniti con un misto di ammirazione e di ansia. L'America spiccava per la sua distribuzione industriale del tempo, la Gran Bretagna per la sua rete mondiale di cavi sottomarini. Entrando nel *Bureau des Longitudes* nel 1893, Henri Poincaré fece conoscenza di un mondo assai diverso da quello plasmato dalle grandi imprese scientifiche e commerciali di britannici e americani. All'Osservatorio gli orologi funzionavano con stupefacente precisione, ma per le strade di Parigi regnava una sconcertante inaccuratezza. I francesi, e in particolare gli esponenti dell'*École Polytechnique*, si rammaricavano di un simile fallimento, ma erano orgogliosi del loro rigoroso approccio matematico e filosofico alla standardizzazione. Dopo aver condotto l'illuministico metro a una vittoria trionfante, stavano cominciando a estendere la razionalità universale da esso annunciata al caotico dominio del tempo.

Dall'altra parte dell'Atlantico, la riforma nordamericana del tempo non poteva

esibire alcun leader della statura scientifica di Le Verrier. Nonostante i molti tentativi in tal senso, è di fatto impossibile ridurre la storia della coordinazione del tempo in America all'opera di un singolo individuo, di una singola industria o di un singolo scienziato. Il movimento verso la sincronizzazione era già nella fase di opalescenza critica, con dozzine di consigli cittadini, sovrintendenti ferroviari, telegrafisti, società tecnico-scientifiche, diplomatici, scienziati e osservatori in competizione tra loro circa il modo di coordinare gli orologi. Si trattava di uno sforzo così ibrido, dalle corrispondenze e griglie di coordinazione così fluttuanti, che gli astronomi finivano per vendere il tempo come uomini d'affari e i ferrovieri per parlare all'ordine universale della natura.

Gli scienziati francesi scoprirono che l'impresa scientifica più importante in America non riguardava la fisica matematica, la matematica o l'astronomia pura, bensì l'opera dell'ambizioso *Coast and Geodetic Survey*. Squadre di cartografi e di topografi erano indaffarati a registrare confini, fiumi, montagne e risorse naturali di un paese in rapida espansione. Come tutti i loro colleghi, i tecnici americani dovettero fare i conti con il tempo, poiché esso era inseparabile dalla longitudine.

Per determinare l'ora locale sul posto occorreva guardare il cielo e regolare poi l'orologio allorché il Sole attraversava il punto più alto. O, più precisamente, bisognava determinare l'istante in cui una certa stella attraversava una linea immaginaria che saliva in verticale dall'orizzonte settentrionale. Conoscendo l'ora di un fissato punto di riferimento - Washington, per esempio -, i topografi non avevano difficoltà a calcolare la differenza tra l'ora locale e quella di Washington. Se le due ore coincidevano, essi si trovavano da qualche parte sulla stessa longitudine del Campidoglio. Se, invece, rilevavano che l'ora locale era tre ore avanti rispetto a Washington, allora si trovavano a un ottavo della circonferenza del Globo, verso occidente.

Il problema del cartografo era dunque sempre quello di determinare la simultaneità a distanza: quale sarebbe adesso l'ora esatta a Washington, a Parigi o a Greenwich? Esploratori, topografi e navigatori portavano con sé orologi (cronometri) regolati sull'ora del loro porto di partenza. Per determinare la longitudine, essi non avevano che da confrontare il tempo locale con quello del cronometro. Ma far sì che un orologio di precisione segnasse correttamente il tempo attraverso il moto irregolare della cabina di una nave o sul dorso di un mulo, non era impresa facile. Aggiungete i capricci della temperatura, l'umidità, i guasti meccanici, e avrete subito chiaro come la produzione di un cronometro preciso e stabile dovesse rappresentare uno dei più difficili problemi meccanici mai affrontati. John Harrison, lo straordinario orologiaio del XVIII secolo, spese l'intera vita nel tentativo di costruire un accurato orologio d'alto mare in grado di determinare la longitudine.¹⁹ Ma nonostante il suo talento, non riuscì a portare a termine la sua ricerca sul tempo mobile. Gli sforzi per costruire orologi affidabili e trasportabili continuarono per tutto il XIX e il XX secolo. A lungo gli astronomi si arrovellarono per progettare un modo preciso di usare il moto della Luna rispetto alle stelle fisse come una sorta di gigantesco orologio leggibile da qualunque parte. Tuttavia, determinare matematicamente la posizione della Luna era compito arduo; misurarla in mezzo a un campo o su una nave era assai difficile, eccetto che nei rari momenti in cui la Luna passava davanti a una stella o a un Pianeta.

La misurazione più agognata dai topografi americani riguardava la differenza di longitudine tra il Nuovo e il Vecchio Mondo. I cartografi, però, non riuscivano a raggiungere un accordo. Uno dei tanti disperati tentativi cominciò nell'agosto 1849, con sette spedizioni transatlantiche in ogni direzione, ciascuna delle quali portava con sé dodici cronometri di precisione. La speranza era che questo carico temporale avrebbe alla fine mostrato la reale differenza d'ora, e dunque di longitudine, sussistente da una parte all'altra dell'Atlantico. Nel 1851, approfittando di cinque traversate da Liverpool e di due da Cambridge (Massachusetts), vennero caricati a bordo trentasette cronometri. Dopo aver spedito per mare novantatré orologi, gli astronomi ottimisticamente annunciarono di aver determinato la differenza d'ora da costa a costa con un margine d'errore di un ventesimo di secondo.²⁰

La vantata precisione si rivelò ben presto illusoria. Nonostante gli addetti agli orologi fossero sulle navi sempre più attenti a proteggere il ticchettante carico, lo scarto misurato dagli Stati Uniti all'Inghilterra risultava diverso da quello misurato dall'Inghilterra agli Stati Uniti, il che era ovviamente assurdo. Vi doveva essere qualcosa in alto mare che confondeva gli orologi. Gli astronomi sospettarono che la colpa fosse della temperatura: il funzionamento degli orologi sarebbe stato rallentato dalle basse temperature incontrate al largo. Ciò significava che se un orologio letargico fosse partito da Cambridge (Massachusetts) alle 13 in punto, all'arrivo in Europa avrebbe segnato l'ora di Cambridge in anticipo rispetto a quella che effettivamente era, inducendo i cartografi britannici, che si affidavano agli orologi che giungevano in Inghilterra, a collocare Cambridge (Massachusetts), più a ovest rispetto alla sua posizione reale. Di contro, un orologio ritardatario in viaggio da Liverpool avrebbe indicato agli americani l'ora di Liverpool in anticipo rispetto a quella che effettivamente era, e così i cartografi del Nuovo Mondo avrebbero tracciato le loro mappe con Liverpool più a ovest e dunque *più vicina* alle coste del Nord America. I controlli, i calcoli e le interpolazioni non furono di molto aiuto. Il riempire le navi di supervisori, di migliori impianti di condizionamento della temperatura e di orologi di qualità superiore non fece che produrre nuovi dati in conflitto tra loro. Incapaci di calcolare il numero che stava a loro più a cuore, ossia la differenza di longitudine fra Nord America ed Europa, i cartografi caddero in disperazione.

Per secoli, i disegnatori di mappe avevano solo potuto sognare di essere in grado di inviare un segnale di simultaneità per fissare la longitudine. Il telegrafo risolse il problema. Su distanze enormi, una corrente elettrica avrebbe fatto viaggiare un segnale attraverso i cavi a una velocità tale che la trasmissione e la ricezione sarebbero apparse praticamente istantanee. Nell'estate 1848 gli astronomi dell'Osservatorio di Harvard e del *Coast Survey* misero alla prova questa nuova funzione del telegrafo. Una persona avrebbe premuto sul tasto, mentre dall'altro capo del filo un'altra avrebbe rilevato il segnale. Ciascuna battuta a distanza avrebbe lasciato un segno su una striscia di carta che scorreva nel dispositivo di stampa del ricevente. Una sera, uno dei cartografi, Sears Walker, si chiese ad alta voce se non sarebbe stato possibile osservare direttamente una stella passante per il Nord e trasmettere questa osservazione. Bond replicò: perché non far agire lo scappamento di un orologio come il tasto di un telegrafo in modo da poterne sentire i battiti in qualsiasi punto della linea telegrafica? E perché non far sì che il segnale inviato

dall'orologio lasciasse un segno su un cilindro rotante situato lontano da quell'orologio?²¹ Esaminando la posizione dei segni lasciati da un orologio regolato sull'ora locale e quella dei segni lasciati da segnali inviati a ore conosciute da un orologio distante, i topografi potevano confrontare accuratamente l'ora locale e quella distante.

ora distante 12:00:00 → | ora distante 12:00:01 → | ora distante 12:00:02 → | ora locale 12:00:00 → |

Nel nostro esempio, il mezzogiorno locale ricorre circa mezzo secondo dopo il mezzogiorno distante. Invece di cercare di registrare il tempo, fermando un orologio nell'istante in cui una stella attraversava un minuscolo reticolo nel loro telescopio, gli astronomi potevano semplicemente misurare la distanza tra le linee sul loro foglio di carta. Grazie a tale misurazione, i topografi avevano la longitudine.

Alla fine del 1851, i cavi telegrafici si estendevano da Cambridge (Massachusetts) a Bangor (Maine); da qui il segnale temporale saltava, in una seconda trasmissione, da Bangor sino a Halifax (Nuova Scozia). Quando cominciarono a reclamizzare i loro trasmettitori elettrici del tempo, gli scienziati americani trovarono in Europa un pubblico preparato. Bond notava: “È una circostanza gratificante che in Inghilterra si conosca quest'invenzione e se ne parli come del ‘metodo americano’, e che l'Astronomo Reale abbia predisposto i cavi a Greenwich per introdurla anche lì”.²²

Ma non erano solo gli astronomi e i cartografi a preoccuparsi della rapida diffusione della simultaneità. I treni avevano orari da rispettare, e nel 1848-1849 le ferrovie cominciarono a organizzare associazioni di volontari che fissassero, per convenzione, gli orari. Per gran parte del New England ciò significava che tutti i treni dovevano adottare, dal 5 novembre 1849, “la vera ora di Boston indicata da William Bond & Son, No. 26 Congress Street”.²³ Qualsiasi ferrovia che non rientrava in questo comune sistema temporale aveva buoni motivi per adeguarsi al più presto. Il 12 agosto 1853, due treni si scontrarono in una curva cieca sulla tratta Providence-Worcester. Quattordici persone persero la vita e i quotidiani incolparono della tragedia un macchinista, accusandolo di aver avuto la mano pesante sull'acceleratore e un orologio lento al suo fianco. Poiché solo pochi giorni prima era avvenuto un incidente analogo, le ferrovie si trovarono sottoposte a una pressione enorme perché coordinassero i loro orologi. La trasmissione telegrafica dell'ora diventò una tecnologia ferroviaria standard.²⁴

Sollecitando gli osservatori, e venendone al contempo sollecitati, i dirigenti ferroviari, gli operatori telegrafici e gli orologiai accelerarono il coordinamento elettrico degli orologi sia in Inghilterra sia negli Stati Uniti. Nel 1852, sotto la direzione dell'Astronomo Reale, gli orologi britannici cominciarono a inviare segnali elettrici lungo le linee telegrafiche agli orologi pubblici e alle ferrovie.²⁵ Poco dopo lo fecero anche quelli americani.

Elencando i risultati raggiunti, il direttore dello *Harvard College Observatory* si vantava, alla fine del 1853, che “i ticchettii del nostro orologio possono di fatto essere uditi in ogni stazione telegrafica nel raggio di diverse centinaia di miglia da questo osservatorio”.²⁶ Durante gli anni Sessanta e Settanta dell'Ottocento, il tempo coordinato penetrò sempre più profondamente nelle città e nel sistema ferroviario.

Celebrato sulla stampa, visibile nelle strade, studiato negli osservatori e nei laboratori, l'orologio sincronizzato era tutt'altro che il frutto di una scienza rarefatta.

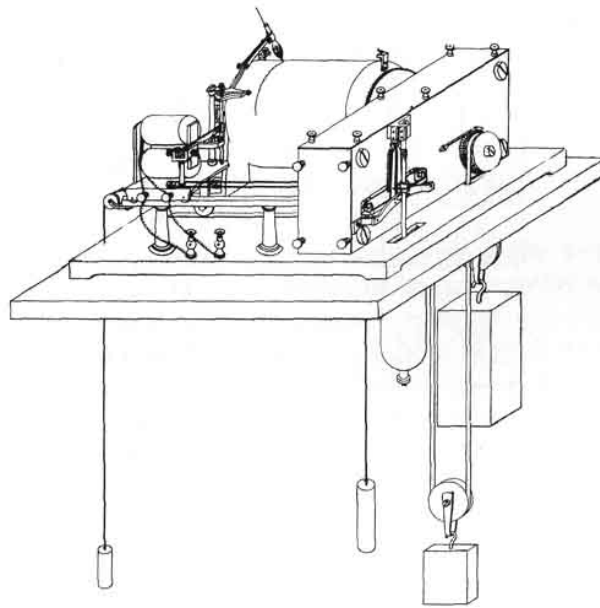


Figura 3.5 Il metodo americano. Con la registrazione dell'arrivo dei segnali telegrafici su un tamburo rotante di precisione, la trasmissione del tempo poteva avvenire in modo molto più accurato che con i mezzi acustici usati in precedenza. Per distanze più ampie (sotto l'Atlantico, per esempio) gli uomini della simultaneità usavano il metodo più sensibile inventato da Lord Kelvin: il segnale elettrico in arrivo faceva sì che un magnete montato su uno specchio oscillasse in modo impercettibile, determinando lo spostamento di un raggio di luce riflessa su un foglio di carta. *Fonte:* Green (1877, retro di p. 23).

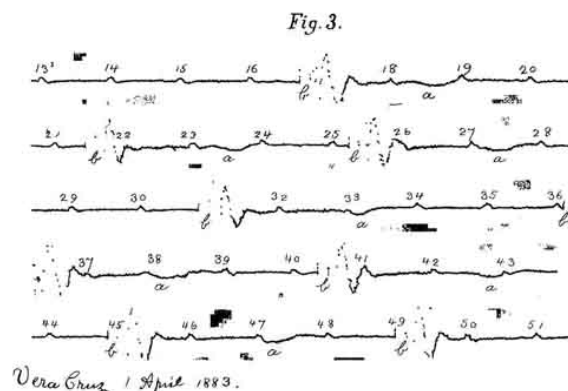
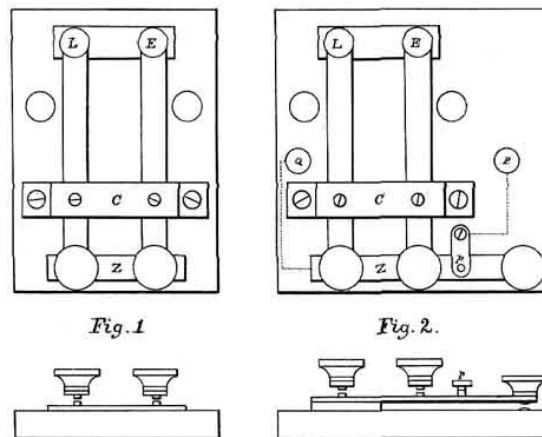


Figura 3.6 Tracce di tempo. Tasti telegrafici e tracce di segnali orari inviati da luoghi distanti e registrati secondo il "Metodo americano" (1883). *Fonte:* Davis et al. (1885), tavola 1.

La sua diffusione capillare nelle stazioni ferroviarie, nei quartieri e nelle chiese, significava che il tempo sincronizzato interveniva nell'esistenza delle persone come avevano fatto l'elettricità, il gas, le fognature: vero e proprio fluido circolante della moderna vita urbana. Diversamente da altri servizi pubblici, la sincronizzazione del tempo dipendeva direttamente dagli scienziati. Alla fine degli anni Settanta, lo *Harvard College Observatory* non era che uno dei tanti siti che distribuivano l'ora esatta, benché per qualche anno il suo servizio fosse uno dei più completi. Pittsburgh, Cincinnati, Greenwich, Parigi e Berlino svilupparono ben presto sistemi propri.²⁷

IL COMMERCIO DEL TEMPO

Poco dopo questi primi esperimenti sul tempo elettrico, l'Osservatorio di Harvard affittò una linea telegrafica per distribuire a Boston l'ora che i suoi astronomi avevano determinato misurando le stelle. Nel 1871, il direttore dell'Osservatorio decise di far pagare il servizio, nella speranza di installare un grande orologio "così che il pubblico possa vederlo e imparare ad apprezzare il metodo di comunicazione del tempo".²⁸ I proventi furono buoni: nel 1875 il servizio rese 2400 dollari, una somma sufficiente per assumere all'Osservatorio un esperto di gestione del tempo.²⁹ Nel febbraio 1877, l'astronomo Leonard Waldo arrivò a Harvard da Yale, dove aveva ricoperto un incarico analogo. All'epoca quelli di Cambridge avevano già investito più di 8000 dollari in strumenti, orologi e linee telegrafiche. Ora ci volevano i clienti. Usando il loro telegrafo per il segnale di mezzogiorno, Waldo progettò di collocare un enorme orologio di rame sul pennone di uno degli edifici più alti di Boston. Sperava che quel quadrante pubblico, visibile dalla terra ferma e dal mare, potesse fare grande pubblicità all'immagine dell'Osservatorio. Le ferrovie avrebbero così potuto stanziare maggiori investimenti. Ma tra i clienti possibili vi erano anche gioiellieri e orologiai, per non dire di tutti i privati che chiedevano a gran voce (o avrebbero dovuto, secondo Waldo) l'ora esatta. Waldo riteneva che una clientela più ampia avrebbe persuaso i grandi industriali che il tempo era davvero denaro, o che almeno valeva la pena di comprarlo. I cavi si moltiplicavano, serpeggiando attraverso l'Osservatorio, che aspirava a essere l'orologio maestro dell'intero New England.³⁰

Con tenacia Waldo ribadiva il proprio messaggio ogni volta che poteva. Incoraggiato dalla Western Union, diede alle stampe un libretto che pubblicizzava il servizio dell'ora esatta a un centinaio di città e cittadine del New England. La sua ora, l'ora dell'Osservatorio di Harvard, si sarebbe basata su un magnifico orologio Frodsham, corretto una volta al giorno alle 10 in punto di meno di una frazione di secondo. Da questo orologio maestro, il tempo avrebbe attraversato la regione lungo due circuiti, oltre a quello principale che collegava l'Osservatorio, il Dipartimento dei Vigili del Fuoco di Boston e la città. Nell'improbabile eventualità di un guasto nell'orologio dell'Osservatorio, Waldo prometteva ai clienti affamati di tempo che avrebbero ricevuto un segnale di riserva dagli orologiai William Bond & Sons. Nel corso dell'intera giornata, a intervalli di due secondi, gli impulsi partivano dall'Osservatorio, saltando, per ragioni di identificazione, quello del cinquantottesimo

secondo di ogni minuto e omettendo, nel quinto minuto di ogni ora, quelli che andavano dal trentaquattresimo al sessantesimo secondo.³¹

I cittadini, come il titolare della Rhode Island Card Board Company, volevano conoscere l'ora esatta:

Potrebbe avere la gentilezza di informarmi se l'ora fornita all'ufficio della W[estern] U[nion] Telegraph di Boston dal suo Osservatorio sia l'ora effettiva di Cambridge o quella di Boston, cioè se si tenga conto della differenza d'ora tra le due località prima di trasmettere i segnali!.] Il battito della lancetta dei secondi sul quadrante di Boston corrisponde esattamente a quello dell'orologio standard di Cambridge? Providence riceve segnali corretti direttamente dal vostro Osservatorio per via telegrafica? Moltissimi cittadini di Providence e dintorni che posseggono pregevoli orologi sono assai desiderosi di avere questa informazione.³²

La lavorazione del cartone richiedeva forse una pianificazione che spaccasse il secondo? La verità è che il magnate del cartone e altri come lui volevano conoscere l'ora esatta poiché i loro “pregevoli orologi” la richiedevano; avevano cominciato a considerare l'esatta coordinazione dei loro orologi come un valore in sé, indipendente da ragioni puramente pragmatiche. Alimentare un simile entusiasmo per la modernizzazione del tempo era la grande speranza di Waldo. Non solo le sue circolari, le sue conferenze e la sua corrispondenza, ma anche il ruolo crescente svolto dalle ferrovie, avevano iniziato a creare una sensibilità che non poteva che giovare al servizio dell'ora offerto da Harvard. Cinque anni di vendita del tempo avevano contribuito non poco ad accrescere tale consapevolezza. Nelle parole di Waldo:

Per anni la comunità era stata inconsapevolmente educata a ritenere desiderabile uno standard uniforme del tempo. In molti posti, accurati orologi venivano quotidianamente confrontati con i segnali dell'Osservatorio, e le relazioni che venivano stilate erano considerate autorevoli. Tuttavia, gli abbonati erano diventati a tal punto critici da rilevare e discutere anche errori di una frazione di secondo.

La gestione dei treni e la taratura degli allarmi antincendio esigono un'accuratezza tale da dover preferire un errore di due decimi di secondo a uno di quattro decimi? Ovviamente, no. Tuttavia, Waldo spingeva il pubblico, e da esso era spinto, verso una sempre maggiore precisione. A modo suo, partecipò alla realizzazione di una sensibilità temporale modernista, i cui confini eccedevano di gran lunga le esigenze pratiche di precisione.³³

Nella sua fabbrica del tempo, Waldo era impegnato a proteggere gli orologi dalle variazioni climatiche, a rendere sistematiche le connessioni telegrafiche e a ingaggiare un osservatore incaricato di determinare giorno per giorno l'errore degli orologi. Per salvaguardare gli orologi dell'Università dalle variazioni di temperatura, gli astronomi sigillarono una delle stanze del seminterrato contro gli elementi. Questa “stanza degli orologi” era situata nell'ala ovest dell'Osservatorio e venne ultimata il 2 marzo 1877. Ampia 3,4 x 1,7 metri e alta circa 3 metri, era dotata di doppie mura per proteggere gli importantissimi orologi. Solo una porta blindata faceva breccia in queste spesse barriere. Quando la porta si chiudeva, aderiva perfettamente a una guarnizione di feltro. All'interno, i tre preziosi orologi erano posati su lastre di marmo che

poggiavano a loro volta su pilastri di mattoni, con i quadranti illuminati da riflettori allo stagno in modo che potessero essere visti da una spessa finestrella di vetro (l'immediata presenza umana costituiva una minaccia all'accuratezza). In tutti gli Osservatori del mondo, da Berlino a Liverpool, da Mosca a Parigi, vi erano astronomi altrettanto ossessionati che limavano ogni errore dai loro orologi maestri.³⁴

Misurare il tempo con una precisione che spaccava il secondo era una cosa, commercializzarlo era un'altra. Ai confini della regione in cui veniva venduta l'ora di Boston vi era Hartford, una città che era stata incerta se adottare la propria ora locale o quella di New York City. Waldo annotò che un notevole di Hartford, Charles Teske, gli aveva scritto nel luglio 1878, manifestando l'interesse circa la possibilità di convertire la sua città all'ora dell'Osservatorio di Harvard. Teske riferiva di avere presieduto il Dipartimento dei Vigili del Fuoco di Hartford e il suo consiglio di amministrazione, cioè una di quelle istituzioni la cui campana a mezzogiorno segnalava l'ora al pubblico. Al sindaco di Hartford piaceva l'idea di acquistare l'ora esatta di Cambridge per suonare la campana a mezzogiorno e a mezzanotte. Ma mettere insieme interessi diversi e orari divergenti era meno semplice, come Teske si lamentava con Waldo: "Attrarre l'interesse delle persone su questo argomento è come risvegliare i morti dal loro sonno, dal momento che qui a Hartford abbiamo ogni sorta di orari e ciascuno sostiene che il proprio è quello corretto". Egli riteneva che per convincere i capi distrettuali e il consiglio comunale a prendere tale decisione, vi sarebbe voluto un grande sforzo da parte sua, ma anche un prezzo ragionevole da parte dell'Osservatorio. Tuttavia, più che il denaro, era in gioco l'autonomia. "Ci darete l'ora di Cambridge? Potrete darci l'ora di Hartford? Qual è l'esatta differenza tra l'ora di Cambridge e quella di Hartford?" Diversi mesi dopo era ancora alle prese con i suoi avversari.³⁵

Nel redigere il rapporto del novembre 1878, Waldo lasciò uno spazio vuoto là dove vi sarebbe dovuta essere Hartford; sapeva che la città stava sul confine regionale tra due domini temporali solcati dalle rotaie dei treni. "È alla ferrovia che dobbiamo guardare per avere il sostegno più certo al nostro schema di una distribuzione generale dei segnali orari dell'Osservatorio. [...] È normale che le ferrovie regolino l'ora delle città situate lungo le loro linee." L'ora dei treni seguiva quella dei grandi centri urbani, e la linea New York-Hartford collocava quest'ultima nel raggio d'azione dell'ora di New York. Ma il dominio che andava da New London e Providence fino a Springfield ricadeva nel fuso orario di Cambridge. "Per alcuni anni a venire, dunque, penso che Hartford sarà il punto in cui dovremo cessare di fornire l'ora di Boston." Le terre contese potevano anche restare ai margini, ma la conquista regionale della simultaneità non fu mai in discussione: "L'uso dell'ora locale dovrebbe essere scoraggiato in tutto il New England".³⁶

Cambridge perse Hartford. Neanche il disperato tentativo da parte di Teske di coinvolgere il presidente del Trinity College riuscì a smuovere il consiglio comunale. Lo stesso Dipartimento dei Vigili del Fuoco di Hartford alla fine si arrese e acquistò un cronometro navale per suonare la campana a mezzogiorno. Alquanto scoraggiato, Teske scrisse all'Osservatorio che "ovviamente" ciò poteva "essere considerato adeguato solo da quanti ignorano le minuziosità del vostro Segnale Orario". Non essendo riuscito a smuovere la città, Teske si offrì di acquistare l'ora di Harvard per il

suo negozio (si suppone che vendesse orologi); era determinato a ottenere “un Segnale Orario assolutamente esatto”. Due anni dopo, il Connecticut fissò ufficialmente la propria ora sul meridiano della città di New York utilizzando segnali elettrici che provenivano dall'Osservatorio di Yale. Dall'istituto, il tempo fluiva attraverso il raccordo di New Haven sino alle linee di varie compagnie ferroviarie. Queste erano a loro volta obbligate per legge a trasmettere segnali temporali elettrici lungo tutte le loro diramazioni, a montare orologi coordinati nelle loro stazioni e a far pervenire il segnale orario a tutte le linee ferroviarie che incrociavano.

I magnati delle ferrovie non gradirono. Avevano il loro orario e non vedevano di buon occhio qualunque intrusione da parte dello Stato. Il direttore generale della New York & New England Railroad Co. si lamentava: “L'ora standard di questa linea è l'ora di Boston [...] ma per una ridicola legge dello stato del Connecticut siamo obbligati a usare l'ora di New York ogni volta che attraversiamo il confine dello stato. [...] È una seccatura, un notevole inconveniente, che non ha, a quanto mi consta, alcuna utilità”.³⁷

Non vi era campo in cui non si avvertisse un repentino cambiamento di scala. Un giorno l'Osservatorio di Harvard doveva risolvere un problema di navigazione. Un altro i suoi tecnici dovevano occuparsi di un orologio congelato tirato giù da un alto pennone per mezzo di un telecomando. Un altro ancora facevano piani per collegare via cavo centinaia di città attraverso l'intero New England. Quanto più le regioni in cui il tempo era coordinato si moltiplicavano in tutti gli Stati Uniti, tanto più cresceva l'attrito ai loro confini. Il negozio di un gioielliere qui; una linea ferroviaria là; talvolta una sezione longitudinale, una regione, uno Stato. Alla fine del 1877, l'Osservatorio di Dearborn (a sud di Chicago) controllava gli orologi di una mezza dozzina di gioiellieri, di quattro principali compagnie ferroviarie che passavano per Chicago e dell'Assessorato al commercio di quella città. Se a Harvard Waldo si impegnava allo spasimo per limare errori di un centesimo di secondo, Dearborn affermava tranquillamente di “non fare grossi sforzi per stabilire l'ora in modo *troppo* accurato. L'orologio che trasmette il segnale standard viene generalmente regolato con una precisione di mezzo secondo. [...] Finché l'ora che forniamo è esatta a meno di un secondo circa, ci dichiariamo soddisfatti e riteniamo che tale approssimazione sia sufficiente per tutti gli scopi pratici”.

Dearborn aveva ragione. Gli operatori dei treni e i passeggeri non avevano certo bisogno di orologi più accurati del tempo umano di reazione. Ma le differenze nella cultura del tempo riflettevano qualcosa di più. In primo luogo, il servizio orario dell'Osservatorio di Harvard traeva origine dalla determinazione della longitudine. A tal riguardo, vi era ampio consenso, e non solo negli Stati Uniti, sul fatto che le mappe dovessero essere disegnate nel modo più accurato possibile. I topografi esigevano un'accuratezza sino a decimi, se non centesimi o persino millesimi di secondo. Inoltre, la mania della precisione coltivata all'Osservatorio di Harvard aveva avuto eco non solo tra gli astronomi ma anche tra i migliori orologiai e tra i loro eleganti clienti del New England. La cultura della precisione ticchettò prima e con più forza a Boston che a Chicago.³⁸

Tuttavia, lo scontro principale non riguardava gli Osservatori americani, bensì gli Stati Uniti (o la Gran Bretagna) e la Francia. Non potremmo neppure lontanamente

immaginare un astronomo americano o britannico che nel 1879 si rifiutasse di far passare per la porta di una stazione uno dei cavi telegrafici lungo cui correva il segnale orario; così come certo non potremmo immaginare un astronomo americano che giustificasse l'unificazione del tempo quale completamento dell'opera incompiuta dell'Età della Ragione.

SOCIETÀ DI MISURA

Tra le fluttuazioni di scala che segnarono ogni stadio della campagna del tempo va registrata la potente ondata verso il globale che giunse negli anni Settanta dell'Ottocento, grazie alla *American Metrological Society*, fondata da Frederick A.P. Barnard, Presidente della Columbia University. Nel rivolgersi a un illustre assortimento di scienziati, egli perorò la causa di un internazionalismo che basasse il proprio carattere cosmopolita sullo scambio commerciale. “La diversità dei metodi convenzionali impiegati da popoli differenti per determinare le quantità e i valori delle cose materiali è stata in ogni epoca fonte di infinito disagio per le operazioni commerciali, e un serio ostacolo sulla via di un'intelligente comunicazione tra le nazioni. “ La riforma del metro attuata sul continente appariva a Barnard come un segno di speranza, che doveva ancora raggiungere le coste dei paesi di lingua inglese. Rimediare a tale ritardo era lo scopo della Società. Martedì, 30 dicembre 1873, il gruppo approvò uno statuto che proponeva di “introdurre tra [pesi, misure e monete] relazioni di semplice commensurabilità”. I metrologisti avrebbero affrontato lo zero della longitudine, le unità di forza, pressione e temperatura, oltre alla quantificazione dell'elettricità, portando i loro risultati all'attenzione del Congresso, degli Stati, delle istituzioni educative e delle Università. Si trattava, in breve, di una lobby impegnata a mettere a fuoco il razionalismo francese attraverso la lente d'ingrandimento del commercio, così da imporlo alla società civile americana, dalle aule scolastiche alle stazioni ferroviarie.³⁹

Cleveland Abbe, meteorologo e astronomo degli *United States Signal Corps*, frustrato per l'estrema confusione in cui versavano le misurazioni del tempo, aderì alla causa. Nel 1874 aveva arruolato osservatori non professionisti per lo studio dell'aurora: le sue truppe, però, non erano riuscite a trovare un accordo su una base temporale comune, disorientando così lo stesso Abbe e impedendogli di combinare i vari avvistamenti sul campo. Non appena chiese aiuto alla *Metrological Society*, venne con burocratica giustizia messo a capo della commissione che si occupava della coordinazione del tempo. Insieme con Barnard e con il pubblicitario canadese Sandford Fleming, Abbe divenne uno dei più ferventi fautori dell'unificazione del tempo e i suoi studi vennero presentati al Congresso (1882) e ai convegni internazionali di Venezia (1881) e di Roma (1883).⁴⁰

La commissione della *Metrological Society* guidata da Abbe sostenne nel 1879 che le vere ore locali, in senso astronomico, erano state ormai definitivamente rimpiazzate da un'accozzaglia di ore ferroviarie. Esortò perciò “le istituzioni pubbliche, i gioiellieri, la città e i funzionari cittadini [...] a regolare gli orologi pubblici, le

campane e gli altri segnali orari sullo standard adottato dalle principali ferrovie delle loro rispettive località o delle immediate vicinanze”. Fu suggerito di ridurre i settantacinque meridiani a tre zone, corrispondenti a quattro, cinque e sei ore a ovest di Greenwich. Tale parziale unificazione sarebbe andata bene. Ma ancor meglio sarebbe stato disporre di un *unico* standard orario per l'intera nazione. Fissata sei ore a ovest di Greenwich, questa ora pienamente *nazionale* sarebbe stata battezzata “Ora delle Ferrovie e dei Telegrafi” poiché “queste corporazioni esercitano una tale influenza sulla nostra vita quotidiana che se facessero quel passo verso l'unificazione del quale parlano da molti anni, sarebbero seguite, ne siamo convinti, da ogni singolo membro della comunità”.⁴¹ Nello stesso momento in cui Le Verrier esortava le ferrovie francesi a prendere “a esempio” il tempo degli astronomi, americani come Barnard e Waldo si battevano perché il tempo civile fosse modellato su quello ferroviario.

Con fare moderno, la *Metrological Society* decise di esercitare pressioni sia sullo Stato sia sui vari governi nazionali perché i cambiamenti penetrassero in profondità nel tessuto della vita quotidiana. Gli Osservatori, alleati con le ferrovie e i sistemi telegrafici, erano in grado di trasmettere l'ora esatta in qualunque punto del continente. I metrologisti si adoperarono perché l'ora delle ferrovie e dei telegrafi fosse segnata da un orologio coordinato in ogni edificio pubblico, ogni capitale nazionale o statale, in ogni ospedale, prigione, ufficio della dogana, sede della zecca, pronto soccorso, faro, pennone navale, arsenale, ufficio e furgone postale. Volevano che “a partire dal 4 luglio 1880” vi fosse in tutti gli Stati Uniti un'unica ora legale standard per tutti gli scopi.⁴² La *Metrological Society* sapeva che per vincere la battaglia avrebbe dovuto reclutare tra i suoi alleati i funzionari delle ferrovie e dei telegrafi, oltre agli astronomi, compresi Waldo e i suoi equivalenti negli altri Osservatori. Non meno importante era coinvolgere il trentatreenne segretario della *General Time Convention* dei funzionari ferroviari e curatore della *Guida ferroviaria ufficiale per gli Stati Uniti e il Canada*, William F. Allen.

Allen era il più grande dei burattinai del tempo, il burocrate che stava dietro l'infinita lista di treni e orari ferroviari. Era lui che presiedeva alla compilazione degli orari locali; l'uomo delle ferrovie che, più di ogni altro, aveva la responsabilità di organizzare le miriadi di strade ferrate in una guida che consentisse al viaggiatore di trovare le coincidenze tra le diverse linee. E toccò a lui, nel giugno del 1879, giocare sull'equivoco prima di arrivare a sostenere un piano per l'unificazione.⁴³ Da un lato, avvertiva la pressione esercitata su scala continentale dagli scienziati che ambivano a vedere l'intero paese regolato da un'unica convenzione temporale. Dall'altro, doveva soddisfare, insieme con le ferrovie, alle esigenze delle persone comuni che erano abituate a operare con l'ora locale. Scelse così la via del compromesso, accontentandosi dello status quo che consegnava l'ora esatta alle grandi città servite dalle linee ferroviarie. Nel giugno del 1879, Abbe liquidò l'uso, cui Allen era stato a lungo affezionato, di chiamare mezzogiorno il momento in cui il Sole si trova vicino al meridiano. “I vantaggi del tempo uniforme superano di gran lunga il disagio creato nella prima settimana dal cambiamento proposto. Abolire le vecchie ore è la parola d'ordine.”⁴⁴

Riformatori del tempo fiorivano ovunque. Un outsider, un insegnante di nome

Charles Dowd, si appellò inutilmente ad Allen perché adottasse il suo sistema di fusi orari.⁴⁵ Se Dowd guardava dall'esterno alle ferrovie, Sandford Fleming ne era all'interno, e da consumato ferroviere e promotore, guardava all'esterno. L'ingegnere canadese si lanciò in grandi imprese su vasta scala. Promosse linee ferroviarie attraverso tutte le province marittime, elaborò piani per le ferrovie del Pacifico, progettò insieme con altri il palazzo dell'industria di Toronto, mise il castoro sul primo francobollo canadese, esercitò pressioni politiche per la costruzione del cavo transpacifico e, infine, propose un sistema che avrebbe coperto il mondo. Non aveva tempo per il pragmatismo dei consigli comunali; la sua entrata in scena fu segnata da una spavalderia imperiale, progressista, con una punta di orgoglio coloniale ferito. Nel 1876, cominciò a scrivere articoli che celebravano le nuove tecnologie ferroviarie e telegrafiche, mettendo alla berlina gli antiquati sistemi orari che esse avevano mandato in frantumi: "Siamo ancora legati [...] al sistema di cronometria ereditato da un remoto passato, nonostante le difficoltà e i disagi che si incontrano di continuo in ogni parte del mondo". Fleming faceva l'esempio di un viaggiatore intenzionato a partire in nave da Londra alla volta dell'India. La moderna spedizione aveva lasciato con difficoltà le coste inglesi, e l'ora del viaggiatore era sbagliata. L'ora di Parigi spodestava quella di Greenwich, per cedere il passo alle ore di Roma, di Brindisi, di Alessandria e quindi alle nuove ore assegnate giorno per giorno sino all'entrata in porto della nave in India. La cosa folle (per Fleming) era che l'ora di Bombay si divideva tra quella locale e quella ferroviaria, puntata su Madras. Tale confusione regressiva doveva, a detta sempre di Fleming, essere eliminata.⁴⁶

Egli pensava a un'unica convenzione universale per l'intero Pianeta, in cui ciascuno dei 24 fusi orari fosse etichettato assegnando alla linea longitudinale di grado 0 il nome di meridiano fondamentale; la lettera A avrebbe indicato la linea situata a 15 gradi, la lettera B la linea a 30 gradi, e così via fino a X (la linea a 345 gradi). L'ora "universale", "cosmopolita" o "terrestre" sarebbe stata dunque determinata da un orologio immaginario fissato nel centro della Terra, con la lancetta delle ore puntata permanentemente sul Sole. Quando, per la rotazione della Terra, la linea meridiana C avesse attraversato la linea che congiungeva la lancetta delle ore al Sole, sarebbero state *ovunque* le C in punto. Quando D avesse attraversato tale linea immaginaria, sarebbero state ovunque le D in punto. *Ogni* orologio al mondo avrebbe segnato la stessa ora simultaneamente. Se il Big Ben diceva che erano le ore C.30.27 (cioè 30 minuti e 27 secondi dopo le ore C), lo stesso avrebbe fatto un orologio a Times Square o nel centro di Tokyo, grazie al "telegrafo elettrico che forniva i mezzi per assicurare un perfetto sincronismo in tutta la terra". Si trattava di una scala di unificazione elettrica del tempo che finiva per rimpicciolire lo stesso continente americano. Per venire incontro alle sensibilità locali, Fleming ideò nuovi modelli d'orologio. Uno di questi consentiva all'utente di ruotare il quadrante in modo che il mezzogiorno locale (per esempio, F o Q, a seconda della posizione) si trovasse nel punto più alto. Un altro forniva due quadranti affiancati, uno per il tempo locale, l'altro per il tempo terrestre.⁴⁷

A detta di Fleming, tale coordinazione del tempo era vitale per i paesi più grandi come il Canada, gli Stati Uniti e il Brasile; utile per nazioni europee come la Francia, la Germania e l'Austria; e, ovviamente, di notevole beneficio per la Russia con la sua

estensione longitudinale di 180 gradi. Ma la prospettiva canadese di Fleming aveva ancora il suo punto focale a Londra: “È della massima importanza per l’impero coloniale britannico con i suoi insediamenti e le sue stazioni in quasi ogni meridiano del Globo, e con vasti territori che saranno occupati da abitanti civilizzati in entrambi gli emisferi”. Le linee ferroviarie e telegrafiche guidavano l’unificazione. Circa 400.000 miglia di linee telegrafiche correivano ormai sul suolo terrestre e sul fondo del mare; 95.000 miglia di rotaie si snodavano attraverso l’Europa e l’Asia. Uomini delle ferrovie come Fleming si aspettavano che il mondo avrebbe presto vantato un milione di miglia di binari e una quantità ancor maggiore di cavi.

Le linee del telegrafo e mezzi di comunicazione a vapore stanno abbracciando l’intera Terra, e tutti i paesi si sono enormemente avvicinati l’un l’altro, come se fossero in un unico, immenso, quartiere - ma che cosa troveranno gli uomini di tutte le razze, in tutte le lande, quando saranno faccia a faccia? Troveranno un grandissimo numero di nazioni che misurano il giorno mediante due serie di suddivisioni, quasi fossero emersi da poco dalla barbarie e non avessero ancora imparato a contare oltre il dodici. Troveranno che le lancette dei vari orologi in uso puntano in tutte le direzioni possibili.

Tale caos, insisteva Fleming, doveva cessare.⁴⁸

Il suo primo articolo (“Il tempo terrestre”) non destò l’attenzione che egli sperava. Ci provò di nuovo nel 1879, riprendendo in forma più ampia gran parte del lavoro precedente e insistendo in maniera ancor più esplicita sulla necessità di un meridiano fondamentale (a Greenwich). La pattumiera della storia, notava, era piena di candidati che avevano fallito. Capo Verde (5 gradi circa a ovest del Senegal) era stato uno di tali meridiani zero. Mercatore l’aveva collocato sull’Isola Corvo, nelle Azzorre, poiché lì l’ago magnetico puntava dritto verso nord. Gli spagnoli avevano scelto Cadiz, i russi Pulkovo (appena fuori San Pietroburgo), gli italiani Napoli, i britannici Cape Lizard (Cornovaglia), mentre per i brasiliani il mondo faceva riferimento a Rio. Se si fosse dovuto situare il primo meridiano in corrispondenza della più imponente costruzione umana, allora avrebbe dovuto attraversare la Grande Piramide - almeno così sosteneva il mistico Astronomo Reale scozzese Piazza Smyth.

Dopo aver concluso l’ecumenico omaggio ai meridiani fondamentali del passato, Fleming tornò a Greenwich, da cui partiva quasi tre quarti del traffico navale mondiale. Fortunatamente, riferiva, l’*antimeridiano* britannico (la linea che distava 180 gradi da Greenwich) passava per lo Stretto di Bering, attraversando una minuscola porzione della Kamčatka, ma incontrando per il resto solo acqua, da un polo all’altro. La collocazione del meridiano fondamentale sullo Stretto di Bering avrebbe lasciato inalterata la longitudine mondiale (basata su Greenwich), richiedendo soltanto un lieve aggiustamento nell’etichettatura delle linee. Criticando duramente i francesi, accusati di preferire Parigi per puro nazionalismo, Fleming fece passare la linea “universale” per l’Osservatorio che stava al centro dell’impero britannico. Il potere navale e imperiale trionfava sulla storia, il misticismo, la meccanica celeste e lo sciovinismo delle altre nazioni.⁴⁹ La proposta di Fleming era musica per le orecchie dei riformatori del tempo americani. Abbe gli comunicò nel marzo 1880 di lavorare per l’arruolamento delle compagnie ferroviarie e telegrafiche; Barnard ostentò con orgoglio orologi che segnavano l’ora cosmopolita di Fleming.⁵⁰

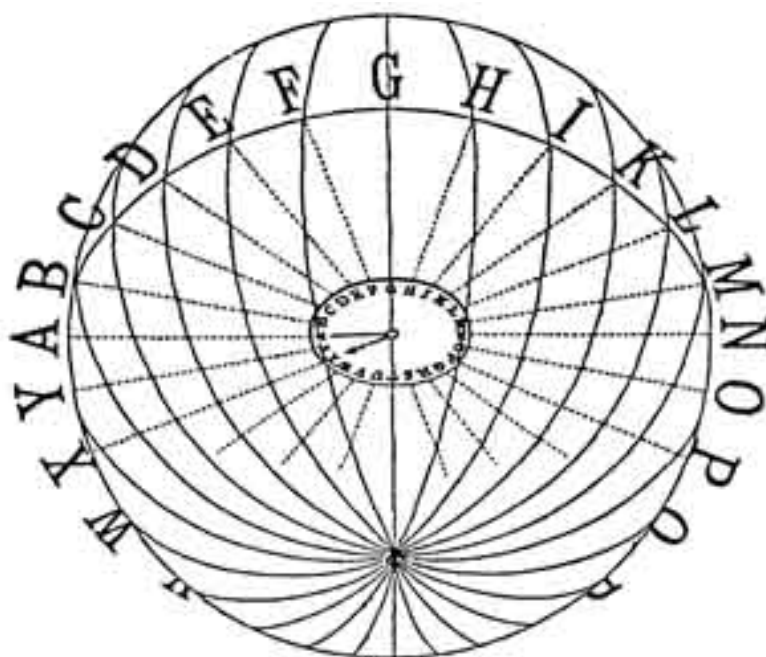


Figura 3.7 L'ora cosmopolita di Fleming. Sandford Fleming, che aveva iniziato come ingegnere tracciando rotte ferroviarie attraverso il Canada, si ricucì l'immagine di grande difensore di un sistema orario basato sull'elettricità, che avrebbe vincolato il mondo intero a un'unica ora "cosmopolita". In questo diagramma del 1879, ritraeva il mondo stesso come un gigantesco orologio in cui ventiquattro lettere avrebbero rimpiazzato la tradizionale serie di cifre con cui si indicavano le ore. "C in punto", sperava, sarebbe stata l'ora universale quando una linea immaginaria, che congiungeva il centro della Terra al Sole, avesse attraversato la linea di longitudine etichettata, in modo convenzionale, con la lettera "C". *Fonte:* Fleming (1879, p. 27).

Non tutti, però, stravedevano per questo nuovo universalismo. Barnard informò Fleming che Piazza Smyth stava sostenendo idee opposte. Nel 1864, Smyth aveva deciso che la Grande Piramide incorporasse la saggezza della sacra metrologia ebraica, una conoscenza antica che non aveva cessato d'essere rilevante anche per i suoi contemporanei: "visto il modo in cui la nostra nazione è in questo periodo agitata dall'ipotesi di un cambiamento nella sua metrologia ereditaria, ed è spinta da un potente partito politico a compiere un passo radicalmente sovversivo in tal senso, invece di procedere a una correzione, a un miglioramento, a una riforma". Ciò che per i riformatori metrici francesi (e in parte britannici) era segno di progresso, razionalità e universalismo, appariva a Smyth come qualcosa di "fatale agli interessi e alle relazioni nazionali". Se i fautori del sistema metrico consideravano irrazionali le unità di misura britanniche, Smyth non mancava di dichiarare il proprio amore per pollici e cubiti, considerati come gli ultimi anelli di una catena che attraverso le piramidi risaliva all'antica luce divina.⁵¹

Toccò a Barnard replicare. Dati gli equilibri culturali e politici, i riformatori nordamericani ritenevano di essere (più o meno) in grado di ignorare l'opposizione di Smyth. Ma l'Astronomo Reale britannico George Airy non poteva essere liquidato con altrettanta disinvoltura. Così, quando intervenne contro Barnard nel luglio 1881, Airy lasciò il segno (Barnard inoltrò immediatamente una copia della lettera a Fleming). Airy si rivolgeva a Barnard educatamente, senza però degnarsi di fare il nome di Fleming. "Mi sembra", ammoniva l'Astronomo Reale, "che voi dobbiate cominciare a considerare, in base a ragioni di convenienza o di mancanza di

convenienza, *quello che le masse vogliono*; e pensare ai mezzi per soddisfare tale volontà.” Poco importavano le considerazioni dello “scrittore canadese” sul disagio dei viaggiatori: regolare il proprio orologio su una linea ferroviaria di grande percorrenza non costituiva per Airy un problema. Supponiamo che il treno che va da New York a San Francisco regoli i propri orologi sull’ora di New York; nel viaggio di ritorno i passeggeri e il personale delle ferrovie si sarebbero semplicemente dovuti adattare all’ora di San Francisco. No, il problema pratico non riguardava le lunghe tratte americane, bensì i distretti a cavallo tra le linee di cambiamento dell’ora. “Quanto al *Tempo Cosmopolita*, che importanza può mai avere per un uomo che vive in Irlanda o in Turchia: a volerlo sono i marinai, la cui professione li porta ad attraversare molti gradi di longitudine. [...] E qui finisce la sua utilità.” In maniera incredibile per Barnard e Fleming, Airy giudicava debole la stessa scelta di Greenwich come centro del tempo. Troppo a est per essere collocato pienamente in Inghilterra, la scelta dell’Osservatorio non aveva altra giustificazione che la sua autorevolezza. Per Airy, il tempo avrebbe dovuto essere unificato solo là dove tale unificazione aveva senso, come nel caso dell’isola britannica. Ma il tentativo di fissare un’ora universale rappresentava una battaglia futile per l’inopportuno obiettivo di fusi orari “rigidi e immutabili”. “Non riesco a immaginare che questa proposta possa essere mai accolta.”⁵²

Nello scrivere a Fleming, Barnard cercò di indorare la pillola, parlando delle idee eccessivamente “ostinate” di Airy e degli strafalcioni in cui era talvolta incorso in passato, compreso l’intervento pubblico e mal congegnato nell’accesa disputa tra francesi e britannici sulla scoperta di Nettuno. Barnard riferì a Fleming di avere avvicinato il Colonnello Clarke dell’*Ordnance Survey* britannico con maggior successo, tanto che egli avrebbe sostenuto la causa dell’unificazione del tempo. Ma era chiaramente un momento delicato. Barnard dovette ricorrere a tutta la sua abilità politica per cercare di convincere i delegati che sedevano al tavolo dei negoziati internazionali per la Legge delle Nazioni a sottoscrivere la riforma del tempo. Lasciò la presidenza della commissione al ben più famoso William Thomson (Lord Kelvin), che avrebbe dovuto, come confidava lo stesso Barnard, “essere istruito”. Tuttavia, nessuno si era preso la briga di informare Thomson che avrebbe fatto parte della commissione della Legge delle Nazioni deputata ad affrontare le questioni relative alla misura del tempo, né tanto meno che ne sarebbe stato il presidente. Ma mentre cercava di infondere in Thomson il dovuto entusiasmo, Barnard aveva anche da smorzare gli slanci propagandistici di Fleming, pregandolo, in una lettera dopo l’altra, di evitare di scatenare polemiche a vanvera: “Credo sia una cattiva politica mostrare incertezza alla vigilia della battaglia, o cambiare punto di vista di fronte al nemico”. Nella commissione, il tempo languiva.⁵³

Gli apostoli del tempo unificato incontrarono difficoltà pure in Nord America. Mentre Barnard e Fleming tenevano comizi a favore di un’unificazione internazionale del tempo con centro a Greenwich, l’Osservatorio navale degli Stati Uniti mirava a fissare un’unica ora per la nazione, non per il mondo. Gli astronomi navali si facevano beffe dell’idea che la gente comune potesse guadagnare qualcosa dall’adozione di un’ora mondiale, opponendosi al localismo dei fusi orari. Volevano, invece, un tempo scientifico di stile europeo, basato su un osservatorio nazionale (il loro), uniforme per

l'intero paese. Il Contrammiraglio John Rodgers, sovrintendente dell'Osservatorio, si preparò per la battaglia nel giugno 1881, volgendo gli occhi al cielo in cerca di sostegno: "Il Sole è l'orologio nazionale usato da molti, e la sua posizione regola le ore in cui ci si alza, si mangia, si lavora e si va a riposare. Nessun altro orologio può superarlo, dal momento che esso è quello predisposto dalla Natura a regolare la vita dell'uomo". È vero, concedeva, le ferrovie avevano bisogno della loro propria ora, e il governo federale avrebbe potuto disporre affinché sugli orari venisse stampata l'ora di Washington. Tuttavia, "per una persona che è interessata all'ora scientifica ve ne sono mille che non lo sono; inoltre, non vedo alcuna ragione schiacciante per cui noi, che siamo cinquanta milioni, dovremmo adottare l'ora scientifica di una nazione [l'Inghilterra] che ha solo trenta milioni di abitanti. Se i numeri e le dimensioni contano, dovrebbero essere loro ad adottare la nostra ora. Penso che il sentimento nazionale sia troppo radicato tra le masse perché i filosofi possano cancellarlo con le loro chiacchiere". Gli scienziati, concludeva Rodgers, "talvolta sopravvalutano le loro funzioni".⁵⁴

Nel mondo dei primi anni Ottanta dell'Ottocento, sempre più attraversato dai cavi del tempo, i riformatori conducevano la loro campagna per l'unificazione temporale su scale contrastanti. Barnard, Fleming e i loro alleati spingevano per un'ora "terrestre", che coprisse l'intero Globo; i grandi osservatori nazionali di Francia, Gran Bretagna e Stati Uniti difendevano ciascuno la propria ora locale. Ferrovie e città erano i jolly, molto dipendeva dalle convenzioni che sceglievano di adottare. Le città si sarebbero conformate all'ora dei treni, come facevano in Gran Bretagna e in buona parte dell'America? E in tal caso, in base a quale geografia della simultaneità? Oppure i treni avrebbero mantenuto la loro ora specifica, come avveniva in Francia? Convenienza e convenzione erano le parole d'ordine, ma quale sarebbe stato l'orologio maestro a inviare il segnale agli orologi minori? Verso la fine del 1882 Allen accettò una proposta di compromesso: stabilire fusi orari di un'ora per l'intero sistema ferroviario nordamericano. La società metrologica salutò con favore il lavoro di Allen, riportando entusiasticamente la decisione del Congresso di incaricare il Presidente di convocare una convenzione internazionale alla quale gli Stati Uniti avrebbero inviato tre delegati. New York stava prendendo in considerazione la possibilità di passare all'ora di Greenwich, le poste statunitensi avevano adottato un'ora comune, mentre Barnard premeva sul Presidente Chester A.

Arthur, propagandando la riforma del tempo presso il Segretario di Stato Frederick T. Frelinghuysen. Sia la Società americana degli ingegneri civili sia l'Associazione americana per l'avanzamento della scienza sostennero i suoi sforzi.⁵⁵ Sui binari dei treni lo schema di unificazione del tempo correva ancor più veloce. Alcuni esponenti del Sud si ribellarono a favore di un sistema che corrispondesse alle loro esigenze; ma la loro mossa fu neutralizzata.⁵⁶ Quando Allen e i presidenti delle linee ferroviarie, i manager, gli agenti di viaggio e i sovrintendenti si incontrarono a St. Louis, nel Missouri, l'11 aprile 1883 per la *General Time Convention*, sembrò che le ferrovie fossero orientate verso un sistema orario diviso lungo il settantacinquesimo, il novantesimo e il centocinquesimo meridiano.

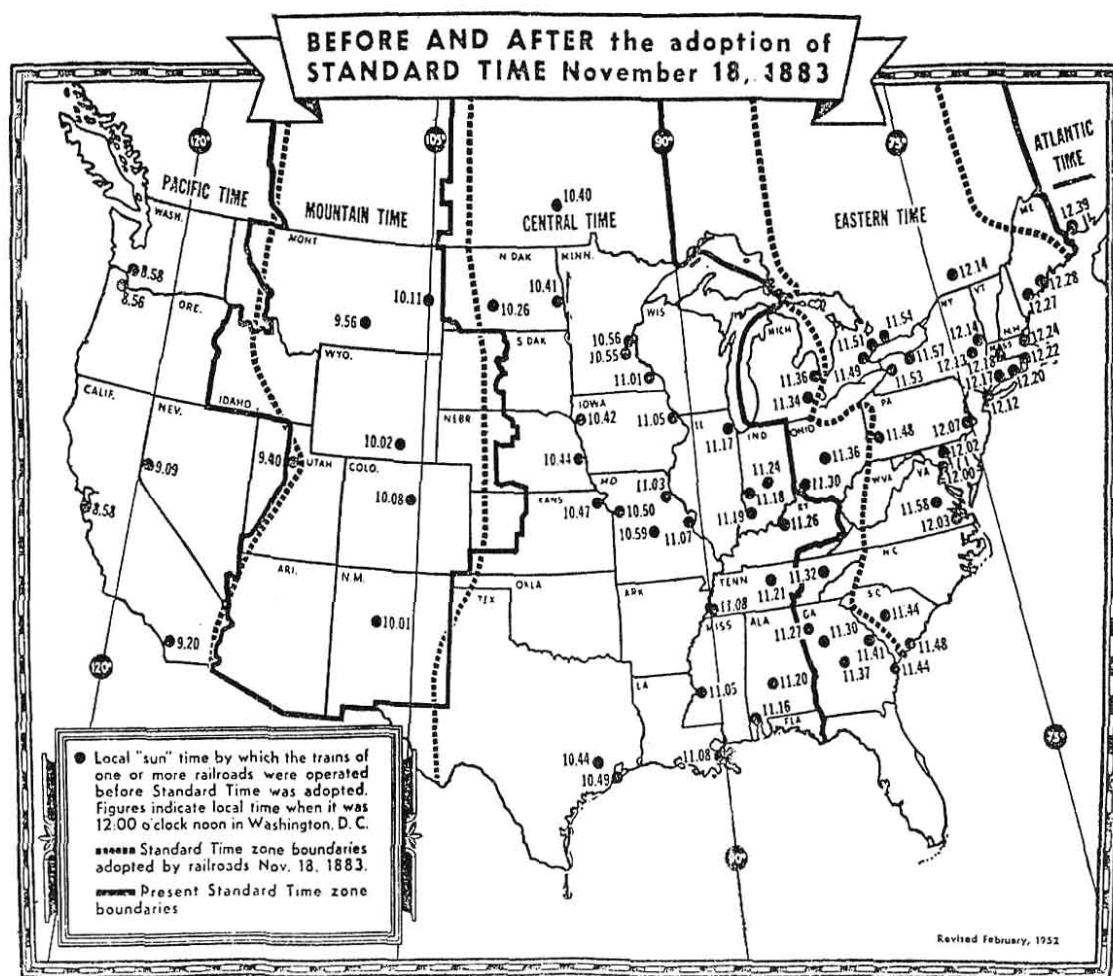


Figura 3.8 Treni, ore e fusi orari. L'unificazione del tempo - questione che investiva interessi di riformatori, astronomi e standardizzatori - ricevette un grosso impulso quando i compilatori degli orari ferroviari sposarono la causa dei fusi orari per evitare la proliferazione di ore locali. Questa mappa ferroviaria indica molte delle diverse ore locali prima della riforma del novembre 1883, nonché le linee divisorie che le ferrovie adottarono dopo quella data. *Fonte:* Carlton J. Corliss, *The Day of Two Noons* (1952, p. 7).

Allen attaccò duramente: “[...] il sistema ‘Hard Scrabble’ attualmente in uso, con i suoi cinquanta standard diversi che si intersecano e si intrecciano, è un’abominia e un supplizio cui non potrà esser posto presto rimedio”. Per soppiantare tale caos Allen presentò il suo *pièce de résistance*: da un lato, una mappa con tre zone orarie longitudinali, ciascuna dipinta di un colore diverso; dall’altro, un collage multicolore che rappresentava la situazione allora vigente. Si potevano trovare sostenitori dell’una e dell’altra, ma la seconda (che raffigurava il caos corrente) non poteva essere stampata in grandi tirature (troppo complicata) e costava il doppio. “Un semplice sguardo a questa mappa è sufficiente a convincere tutti dell’assurdità della situazione attuale.” Come chiari Allen, il suo sistema di fusi orari poteva avere la linea zero in qualunque punto. Certo, la tentazione di collocare il punto zero di longitudine a Washington era grande. Ma tale campanilismo era, a suo dire, inaccettabile:

Siamo tutti, più o meno, imbevuti di un sentimento di orgoglio locale e se l’ora meridiana del “Cuore dell’Universo” è lo standard seguito dalle nostre linee ferroviarie, vorremmo tenercela. Tuttavia, amici miei, che diritto avete di ritenere che quel particolare meridiano appartenga alla vostra città? I

villaggi di Gum Tree e di Hard Scrabble si trovano sullo stesso meridiano e hanno altrettanto diritto di dargli il loro nome di quanto ne ha la vostra bellissima città. [...] Per tutte le normali transazioni di affari uno standard vale l'altro, purché tutti concordino nell'usarlo.⁵⁷

Il tempo era una convenzione, un accordo come un altro, che avrebbe potuto, a seconda del consenso, unificare città, linee ferroviarie, regioni, paesi o il mondo intero. L'iscrizione di tale arbitrarietà nel linguaggio collettivo fu una trasformazione altrettanto grande dell'acquisizione di una coscienza comune del tempo regolarizzato.

Astronomi e ferrovieri ritenevano che le nuove tecnologie dei trasporti e delle comunicazioni disciplinassero il tempo più efficacemente di qualsiasi scuola. Nelle parole di Allen: "I treni sono i grandi educatori e consiglieri della gente quando si tratta di apprendere e rispettare l'ora esatta". Le linee ferroviarie avevano modificato la percezione del tempo in Europa e nel Nord America; inoltre, per una porzione sempre crescente della popolazione, erano gli orari ferroviari a definire il tempo, a esemplificare la sincronia. Anzi, senza treni e telegrafi, vera e propria quintessenza della modernità, la struttura temporale del mondo avrebbe, per la maggior parte delle persone, rotto gli ormeggi. "Ho l'ardire di affermare", aggiungeva Allen, "che se questa città fosse tagliata fuori dalle comunicazioni ferroviarie e telegrafiche per un mese intero, e la prima notte tutti gli orologi fossero simultaneamente e surrettiziamente spostati un'ora avanti o un'ora indietro, nemmeno una persona su mille [...] scoprirebbe da sé qualunque cambiamento fosse stato fatto."⁵⁸

Scherzando sulla convenzione, Allen si lasciò scappare una parabola rivelatrice che, nella sua ironia, rifletteva la posizione dei ferrovieri, poiché col fissare le convenzioni sul tempo essi stavano imponendo elettricamente la simultaneità all'intero paese:

Si racconta che una volta una piccola comunità religiosa adottò due risoluzioni per dichiarare la propria fede. La prima era,
È deciso, che i santi devono governare la terra. La seconda,
È deciso, che i santi siamo noi.⁵⁹

Deciso o meno, alcuni tra i ferrovieri ritenevano che i signori del tempo fossero tutt'altro che santi. L'opposizione non era, come suggeriva Allen, un atteggiamento reazionario motivato dalla rimozione del Sole di mezzogiorno stabilito da Dio. I contestatori *accettavano* tutti il principio di una simultaneità determinata dalle ferrovie e dai telegrafi. Vi erano *già*, dopo tutto, efficaci fusi orari ritagliati dalle ferrovie dall'Atlantico al Pacifico. Una guida ferroviaria del settembre 1883, per esempio, mostrava circa quarantasette linee che facevano servizio con l'ora di New York, mentre trentasei prendevano l'ora dagli orologi di Chicago e altre trentatré erano governate dall'ora di Filadelfia.⁶⁰ *Tutte* le linee ferroviarie accettavano il convenzionalismo del tempo. Tale caratteristica fondamentale del tempo del XIX secolo era così incarnata dalle reti ferroviarie e telegrafiche da essere altrettanto presente sia ai contestatori sia ai fautori dei fusi orari. Su che cosa allora verteva la disputa? Un articolo di giornale, che difendeva una delle ore nazionali, attaccò gli osservatori, in cui gli astronomi, responsabili di avamposti disseminati in tutto il mondo, avrebbero fatto fortuna vendendo l'ora alle varie regioni; la simultaneità locale era diventata "la carne di cui si nutrono questi scrutatori di nuvole". Un'altra

riserva all'ora standard venne da un editore di almanacchi: le ore dell'alba e del tramonto sarebbero state cancellate dall'unificazione del tempo.⁶¹ La maggior parte dei critici si limitava a mettere in discussione le linee divisorie della simultaneità convenzionale; la loro contrarietà ai fusi orari era basata sulla convenienza degli orari ferroviari locali, o dell'ora regionale, nazionale, universale. Pochissimi invocavano "la vera ora di Dio".⁶²

Circa una settimana prima che cominciasse la *General Time Convention*, prevista per l'11 ottobre 1883, Allen dichiarò a una linea ferroviaria dissidente del Massachusetts che settantacinquemila miglia di strade ferrate si erano ormai allineate alla riforma. Man mano che le miglia aumentavano, egli trattava l'opposizione con minor sollecitudine.⁶³ Anche le città furono presto sistemate. A Boston i treni accettarono di passare all'ora standard se l'Osservatorio di Harvard e le istituzioni che da esso dipendevano lo avessero fatto a loro volta. Quando i delegati della *Convention* riuniti al Grand Hotel di Chicago ricevettero una concessione telegrafica cruciale da quelli di Boston, divenne chiaro che la riforma sarebbe passata: "La città, le ferrovie e l'Osservatorio stanno solo aspettando il voto favorevole della *Convention* prima di fissare la data per cambiare l'ora pubblica in tutta Boston". Gli applausi echeggiarono per la sala.⁶⁴ Arrendendosi all'inevitabile, anche l'Osservatorio navale accettò il sistema dei fusi orari, riponendo le proprie aspirazioni nazional-scientifiche.⁶⁵

Al momento del voto, i funzionari delle ferrovie decisero che a contare non fosse né il numero dei delegati favorevoli o contrari, né quello delle compagnie, bensì che si votasse per miglia di binari. Per la riforma si schierarono 27.781 miglia di rotaie di paesi che facevano parte della Convenzione più 51.260 miglia di paesi non membri, per un totale di 79.041 miglia di strade ferrate favorevoli ai fusi orari basati su Greenwich. Solo 1.714 miglia si schierarono con l'opposizione. "È deciso che da questo momento ci impegniamo a far funzionare i treni sulle nostre linee secondo gli standard concordati e a fare lo stesso quando entrerà in vigore il prossimo orario ferroviario", 18 novembre 1883.⁶⁶ Allen voleva un sistema ramificato di orologi coordinati elettricamente che avrebbe congiunto gli orologi degli edifici con quelli dei treni e delle strade cittadine, fissando il tutto sull'ora di Greenwich.⁶⁷

Come speravano le settantanovemila miglia di rotaie, New York aderì alla simultaneità basata sui fusi orari il 19 ottobre 1883, quando il sindaco Franklin Edson firmò la sua ratifica. Edson inoltrò la raccomandazione ai consiglieri cittadini avvolta in un fascio di documenti ferroviari e carte istituzionali. Alla fine dell'anno, i discorsi sulla convenzionalità del tempo erano altrettanto comuni a New York che a Parigi; persino un politico di una grossa città americana poteva proclamare: "Quella che viene chiamata ora locale è solo uno strumento, che differisce dall'ora astronomica, ma è comoda per la gente di ogni località per il fatto che tutti concordano nell'usarla". Poiché la maggior parte delle comunità ne trae beneficio e la differenza è piccola, ragionava il sindaco, perché non dovremmo conformarci al nuovo standard?⁶⁸ "L'ora convenzionale e arbitraria", ripetevano i padri della città, "dovrebbe essere adattata a ciò che corrisponde meglio agli interessi delle persone che è destinata a dirigere." Con tali parole veniva annunciata la decisione per cui il 18 novembre 1883, non solo l'ora ferroviaria, ma anche l'ora della città di New York, sarebbe stata quella

del settantacinquesimo meridiano, pochi minuti a ovest della City Hall.⁶⁹

La riforma del tempo era passata da una miriade di simultaneità in competizione tra loro a un fatto strettamente coordinato, catturato dai telescopi, confermato dal rombo delle linee ferrate, e poi trasmesso via cavo entro gli orologi metropolitani. Il 22 ottobre 1883 Barnard scrisse a Fleming che le ferrovie erano riuscite alla fine a domare il tempo: “Ciò risolve la questione una volta per tutte, almeno per questo emisfero. Non si può invece sperare che si raggiunga lo stesso risultato in Europa. Probabilmente Parigi non acconsentirà mai a usare l’ora di Greenwich, ma non dobbiamo preoccuparcene”. Forse, rifletteva Barnard, il trionfo nordamericano della simultaneità basata sui fusi orari “ [potrebbe] smuovere i governi ritardatari e spingerli ad agire in vista della prevista Conferenza del Meridiano Fondamentale a Washington”.⁷⁰

DAL TEMPO ALLO SPAZIO

Nella Parigi di metà 1884, tuttavia, neanche un solo minuto dell’ora dell’Osservatorio era destinato principalmente a treni e orologi cittadini. L’Osservatorio di Parigi non era mai stato strutturato come un’impresa commerciale. La dispensazione astronomica dell’ora esatta, almeno tra i membri *dell’École Polytechnique* e i loro alleati, non aveva (diversamente da molte delle analoghe istituzioni britanniche) il ben che minimo ruolo nella santificazione dell’impero *via* teologia naturale. Di contro, tra gli stessi sostenitori anglo-americani del sistema metrico, vi era la tendenza a essere affascinati dal metro in virtù delle facilitazioni che esso comportava nel commercio internazionale. Non che per gli scienziati francesi, compresi Poincaré, i suoi maestri e i suoi colleghi, tali vantaggi non fossero evidenti. Tuttavia, decimalizzazione, unificazione e razionalizzazione avevano ai loro occhi un significato molto più ampio. Esprimevano ideali che risalivano all’Illuminismo e in cui l’aspirazione a restaurare la dignità nazionale perduta nel “disastro” del 1870 si univa per i francesi all’esigenza di determinare la razionalità progressista e secolare che avrebbe, a loro dire, costituito l’emblema della modernità della Terza Repubblica.

Per Poincaré, progresso e tecnica erano tutt’uno con il *Bureau des Longitudes*, uno dei grandi centri di scienza illuminata sin dai tempi della Rivoluzione. Nel 1884, l’attività principale dell’Ufficio consisteva nell’impiego del segnale orario elettrico basato sull’Osservatorio per l’elaborazione di una mappa elettrica del mondo. Di fatto, tra la metà degli anni Sessanta e la metà degli anni Novanta dell’Ottocento, Francia, Gran Bretagna e Stati Uniti fecero a gara nello stabilire la simultaneità lungo un’estesa rete di cavi telegrafici sottomarini per fissare le longitudini e ridisegnare la mappa del Globo. La corsa al possesso simbolico di tale mappa contribuì a rendere esplosiva l’atmosfera intorno alla discussione sul meridiano fondamentale prevista per l’ottobre 1884 a Washington. Ma la posta in gioco nella stesura della mappa elettrica del mondo era ancor più alta. Quando affermò nel suo “La misura del tempo” (1898) la natura convenzionale della simultaneità, Poincaré era da oltre cinque

anni “membro” (insieme con alcuni altri illustri personaggi) del *Bureau des Longitudes*, incarico che ricoprì dal 4 gennaio 1893 sino all’anno della morte (1912). Nel settembre 1899, circa un anno e mezzo dopo aver pubblicato “La misura del tempo”, Poincaré ne divenne Presidente; lo sarà ancora nel 1909 e nel 1910. Il suo non fu un ruolo di semplice rappresentanza: scrisse relazioni, guidò commissioni e diresse operazioni di determinazione della longitudine in uno dei periodi più produttivi per la sua ricerca scientifica.

Che cosa era il *Bureau des Longitudes*? A prima vista, una simile burocrazia del calcolo potrebbe sembrare di ben poco interesse rispetto alle vette raggiunte dalla fisica matematica di Poincaré, dai suoi studi sulle geometrie non euclidee e sulla stabilità del Sistema solare o dalle sue audaci congetture filosofiche che spodestavano le verità assolute in nome delle convenzioni. E tuttavia, la funzione assolta da quell’Ufficio è decisiva per il nostro racconto. La corretta comprensione della vasta macchina teorica che esso mise in moto ci porterà a modificare l’interpretazione tradizionale della svolta operata da Poincaré con la sua riconcettualizzazione del tempo.

Il 7 aprile 1884, l’astronomo Hervé Faye lesse di fronte all’Accademia delle Scienze un rapporto scritto dal tenente Octave de Bernardières in cui veniva sollevata una questione cruciale. De Bernardières era tra i primi ufficiali di marina di nuova generazione, essendo stato non solo addestrato in vista della futura carriera in giro per gli oceani, ma allevato, per così dire, dagli astronomi di Montsouris. Le sue competenze astronomiche erano così eccellenti da consentirgli ben presto d’essere uno degli autori di un ponderoso studio di 336 pagine sulla assai poco oceanica differenza di longitudine tra Berlino e Parigi. Nel suo rapporto all’Accademia delle Scienze si diceva che la precisione nella determinazione della longitudine era cresciuta negli ultimi anni in maniera impressionante, grazie sia al trasporto di orologi accurati sia agli strumenti astronomici. Ma quelle vecchie tecniche si erano perse per strada dal 1867, anno in cui il primo cavo aveva solcato l’Oceano Atlantico, colmando la lacuna nella longitudine tra l’Inghilterra (Osservatorio di Greenwich) e gli Stati Uniti (Osservatorio navale, Washington). Negli anni Settanta e Ottanta dell’Ottocento, la nuova tecnologia costituiva la base per la determinazione della longitudine su grandi distanze, mentre i cavi sottomarini dei telegrafi attraversavano tutti gli oceani del mondo.⁷¹

Le fabbriche, specie in Gran Bretagna, sfornavano quantità prodigiose di cavi. Uno spesso conduttore di rame veniva dapprima isolato con “gutta” commerciale - una nuova miscela di gomma, guttaperca, resina e acqua. I fabbricanti vi avvolgevano poi intorno del filo di iuta per creare un cuscino tra il cavo ricoperto di gutta e uno spesso anello di ferro, in modo da evitare che il nucleo di rame si rompesse. Un altro po’ di iuta legava insieme questi cavi; quindi ancora cavi, con altro filo (perlomeno vicino alle pericolose coste rocciose), e infine una guaina impermeabile di gommosa guttaperca malese. Sezioni lunghe un miglio venivano caricate su navi a vapore e trasportate in mare aperto, dove i tecnici le saldavano insieme per migliaia di miglia, dovendo talvolta recuperarle quando (ahimè troppo spesso) venivano danneggiate dall’ambiente marino, da iceberg, vulcani, ancore o rocce affilate.⁷²

Come de Bernardières sapeva bene, i tentativi francesi di redigere una mappa erano

stati frustrati per molto tempo dalle discrepanze che risultavano dai lunghi viaggi oceanici (che rendevano i cronometri inaffidabili). Il *Bureau des Longitudes* aveva ricevuto l'ordine nel 1866 di aprire filiali in tutto il mondo. Inviò così sei squadre nei vari angoli del Globo. Il loro compito era di usare la posizione della Luna rispetto alle stelle fisse per determinare le longitudini locali di svariati siti dell'America del Nord e del Sud, dell'Africa, della Cina, del Giappone, nonché di altri nelle isole dell'Oceano Pacifico e Indiano. Il lavoro di mappatura richiese un impegno titanico, e il governo francese non fece mancare finanziamenti e sostegni. In linea di principio, l'idea era semplice: se due astronomi in due zone diverse della Terra avessero potuto entrambi determinare l'istante in cui la posizione della Luna raggiungeva il suo punto più alto sulla sfera celeste, le loro osservazioni sarebbero state simultanee. Il navigatore avrebbe visto su una carta l'ora di casa e osservato l'ora locale. La loro differenza avrebbe fornito la differenza di longitudine tra i due punti. Sei ore? 90 gradi di longitudine.

Le culminazioni della Luna erano, però, notoriamente elusive. Anche gli astronomi più dotati parevano incapaci di stabilire lo zenith della Luna rispetto alle stelle fisse senza compiere errori significativi e ciò rappresentava un problema enorme. Vediamo perché. La Terra ruota sul proprio asse una volta al giorno, sicché le stelle hanno una rotazione apparente ogni ventiquattrore. La Luna viaggia molto più lentamente rispetto allo sfondo delle stelle, circa una volta ogni trenta giorni. Così, nel tempo impiegato dalla Luna ad attraversare un dato angolo, le stelle si sono mosse di un angolo trenta volte maggiore, moltiplicando pertanto qualsiasi errore per trenta. Il dover governare una nave tra secche distanti con un simile grado di incertezza finiva per uccidere i marinai.⁷³

La difficoltà di “sparare alla Luna” spinse gli astronomi-topografi in cerca della loro longitudine a tentare con altri eventi celesti, più facili da misurare. Per secoli i navigatori erano ricorsi alle eclissi totali; Colombo ne utilizzò una per fissare la sua longitudine in una delle sue esplorazioni transatlantiche. Così, quando si trovarono a dover determinare la relazione tra la longitudine di Washington e quella di Greenwich, i cartografi americani considerarono particolarmente promettente l'osservazione dell'oscuramento del Sole da parte della Luna. Il 18 luglio 1860 gli Stati Uniti inviarono una nave a vapore in Labrador, nella speranza di confrontare i risultati raggiunti con quelli forniti da rilevamenti analoghi compiuti in Spagna.

Un'altra delle tecniche astronomiche tradizionali consisteva nell'osservare l'arco disegnato dalla Luna nel cielo notturno finché una stella non spariva dietro di essa. L'istante della scomparsa (occultamento) poteva essere sfruttato per stabilire la simultaneità tra punti distanti. Si misurava localmente l'ora dell'occultamento, si consultava una carta (o si aspettava un rapporto per posta) per sapere a che ora lo stesso evento era stato osservato a Greenwich o a Parigi, e infine si sottraeva l'una dall'altra. Sia negli Stati Uniti sia in Europa gli astronomi poterono in tal modo osservare e misurare con estrema cura la scomparsa e ricomparsa da dietro la Luna di quattro stelle delle Pleiadi. Il 24 aprile 1860 si verificò un occultamento del Pianeta Venere; in attesa di esso, gli astronomi affollarono gli osservatori di Fredericton, New Brunswick e Liverpool. L'individuazione delle longitudini rientrava tra i compiti degli astronomi francesi, britannici e americani, ed essi impiegarono ogni metodo

concepibile per assolverlo. Tuttavia, il tentativo di legare gli Stati Uniti ai “ben stabiliti osservatori europei” non diede esito. Ogni spedizione produceva un risultato nuovo.⁷⁴

La cartografia fornì un dominio simbolico e pratico sullo spazio. Nella grandiosa opera di conquista del territorio della metà del XIX secolo, la determinazione delle posizioni costituiva un problema per i traffici commerciali, l'attività militare e la costruzione delle ferrovie.⁷⁵ Quando gli Stati Uniti piombarono nella guerra civile, il *Coast Survey* assunse valore strategico. Già da lungo tempo il Congresso aveva chiesto che i rilevamenti coprissero anche i fiumi, in modo da venire incontro alle esigenze del commercio e della difesa. Ora i cartografi speravano di soddisfare tale richiesta, lavorando gomito a gomito con gli ammiragli dell'Unione in Nord Carolina e sul Mississippi. All'inizio, i topografi dei telegrafi, tra cui George Dean, si occuparono della selezione dei dati in loro possesso in modo da fornire le posizioni precise dei siti cruciali dell'esercito sudista, individuando le relative differenze di longitudine.⁷⁶ Osservazioni, misure, calcoli: la mappa delle postazioni dei ribelli intorno a Charleston e a Savannah era pronta, mentre un piccolo gruppo di topografi si univa al generale Sherman in marcia da Savannah a Goldsboro in Georgia. Alla fine del conflitto, gli uomini del *Coast Survey* cominciarono a disegnare il proprio futuro utilizzando i rilevamenti telegrafici compiuti in tempo di guerra. Disponevano di nuove e migliori misurazioni di quasi tutte le principali città, da Calais (Maine), al confine nord-orientale degli Stati Uniti, fino a New Orleans. Benjamin Gould (che era stato a capo dell'impresa di rilevamento delle longitudini legata ai telegrafi) e la sua équipe guardarono a est per colmare la sola lacuna critica - da New York a Washington - che era rimasta nella ricerca di una mappa elettrica completa degli Stati Uniti a est del Mississippi.⁷⁷

I topografi si volsero poi all'oceano. Lo fecero quasi per disperazione, poiché nonostante gli sforzi compiuti, la convergenza su una precisa differenza di longitudine tra Europa e Stati Uniti continuava a rivelarsi irritantemente elusiva. Ricontrollarono le culminazioni della Luna, ristudiarono i dati sull'occultamento di stelle e pianeti, analizzarono con pazienza i vecchi risultati cronometrici. Ma il riesame dei dati precedenti non era sufficiente: “Dai risultati, che di per sé sembrerebbero del tutto affidabili, emerge una discordanza di oltre quattro secondi; e quanto più recenti sono le stime, o più accuratamente sembrano fatte, tanto maggiore è lo scarto. Né si può dire che il *Coast Survey* abbia fatto economia di lavoro, impegno e fondi nelle sue spedizioni cronometriche, giacché la determinazione più accurata possibile della longitudine transatlantica era richiesta per legge”. Inoltre, tra gli ultimi studi cronometrici e i migliori studi astronomici vi era un'imbarazzante e ineliminabile differenza di tre secondi e mezzo.⁷⁸ Nessuno aveva la ben che minima idea di quale risultato fosse il più credibile.

Solo i cavi elettrici sottomarini permisero di uscire dall'impasse. A partire dall'agosto 1857, svariate missioni si erano avventurate per il Nord Atlantico allo scopo di costruire una linea telegrafica. I cavi si spezzavano di continuo; nel giugno 1858, la flotta salpò per l'ennesima volta da Plymouth (Inghilterra), con il suo pesante carico. Dopo appena tre giorni di navigazione in mare aperto, una tempesta si accanì sulle navi per nove giorni di seguito. Una delle navi venne seriamente danneggiata (e

per lo shock un marinaio perse il lume della ragione); ma ciò non arrestò il cablaggio. Il 6 agosto 1858, i primi segnali attraversarono finalmente il cavo. Ma poco dopo questo si ruppe, e lo scoppio della guerra civile pose fine all'impresa. Nel luglio 1865, il *Great Eastern*, una nave gigantesca, cinque volte più grande di qualsiasi altra, salpò da Valencia Island (Irlanda sud-occidentale), con l'intento di tirare un cavo fino a Terranova. Ma dopo duecento miglia, sia il cavo sia il montacarichi della nave erano affondati. La missione era fallita.⁷⁹ Nel 1866 ci provò un altro equipaggio, questa volta con l'obiettivo di stendere un cavo molto più perfezionato da Heart's Content (Terranova), un minuscolo villaggio di pescatori sul lato orientale della *Trinity Bay*, a novanta miglia circa da St. John, fino a Valencia. Ebbe successo. La comunicazione iniziò il 27 luglio 1866, e i topografi cominciarono immediatamente a inviare segnali orari. Gould smembrò la sua équipe in piccoli gruppi, incaricandoli di presidiare le decrepite stazioni sulla East Coast. Per ispezionare la linea telegrafica da Calais a Terranova, la spedizione affittò una goletta, in servizio sulla tratta che andava dall'Isola di Cape Breton (Nuova Scozia) sino alla loro destinazione a Heart's Content (Terranova). A ogni miglio, vi erano ripetitori (che ritrasmettevano il segnale) da ispezionare, nonché dozzine di telegrafisti da addestrare.⁸⁰

Lo stesso Gould partì alla volta di Liverpool e di Londra il 12 settembre 1866, imbarcandosi sul postale a vapore *Asta*, con l'intento di conferire con i responsabili della compagnia dei cavi britannica e di trasportare i suoi strumenti di misurazione nella stazione terminale in Irlanda. Sobbalzando lungo la campagna irlandese su un carro dalle sospensioni a molla, gli astronomi trascinarono il loro precario cumulo di casse per quarantadue miglia; caricarono poi i preziosi strumenti su un traghetto per Valencia, attraversando gli stretti di Killarney. Le condizioni finali del cavo erano scoraggianti. La compagnia britannica rifiutò agli americani il permesso di mettere in contatto elettrico le linee di terra con il cavo sottomarino, temendo che un fulmine potesse danneggiare il loro fragile legame con il Nuovo Mondo. Ciò significava che gli americani dovevano costruire il loro osservatorio vicino all'edificio della compagnia del telegrafo nella Foilhommerum Bay, "lontano", per dirla con le parole degli uomini di Gould, "da qualunque altro centro abitato, fatta eccezione per le poco attraenti capanne dei contadini". Su quel terreno dissestato, essi improvvisarono il loro osservatorio (3,35 x 7 metri), assicurato a sei pesanti pietre sotto terra, protetto dai forti venti di sud-est dall'adiacente stazione telegrafica, e da quelli di nord-est da un terrapieno. La stanza più grande costituiva l'osservatorio vero e proprio; la più piccola, sul lato orientale, diventò la loro abitazione. Il laboratorio era semplice: un supporto rigido per l'equatoriale; un angolo per l'orologio e il cronografo; un posto per il magnete relè che doveva passare il segnale in direzione di Greenwich, il registro Morse, e una tabella per le annotazioni.⁸¹

Dal "cielo particolarmente antiastronomico" di Valencia (la locuzione è di Gould) cominciò a cadere la pioggia. A catinelle. Le nuvole non consentirono che una o due occhiate del Sole a mezzogiorno. Quando questo riuscì a fare capolino, gli astronomi, sempre all'erta, fissarono il loro meridiano. Finalmente, il 14 ottobre 1866, alle 3 di mattina, gli americani intravidero qualche stella attraverso la foschia e ne annotarono i relativi transiti. Stando ai resoconti della gente del posto, nelle otto settimane precedenti l'arrivo dei topografi a Valencia aveva piovuto ininterrottamente tutti i

giorni. Durante le sette settimane in cui il gruppo visse e lavorò nella baracca irlandese sul mare, vi furono quattro giorni senza pioggia e soltanto una notte limpida. “Le osservazioni venivano in genere compiute negli intervalli tra un acquazzone e l’altro; ed era frequente per gli osservatori essere disturbati da un copioso scroscio di pioggia mentre erano impegnati a prendere nota del transito di una stella.” Alle sentinelle del tempo dall’altra parte della linea (a Terranova) andò peggio. Il topografo George Dean non vide nulla, neanche un’occhiata di Sole, Luna o stelle.

Ecco come operava sui frastagliati confini britannici l’alta tecnologia vittoriana, costretta ad alimentare il segnale transoceanico con una batteria composta da una capsula di una cartuccia, un po’ di zinco e una goccia di acqua acidula. Dei della pioggia permettendo, la stazione irlandese avrebbe trasmesso “GOULD” in codice Morse; Terranova avrebbe risposto “DEAN”, seguito da una serie di segnali orari - impulsi di mezzo secondo separati da intervalli di cinque secondi. Agli estremi del cavo, entrambe le équipes armeggiavano sui loro strumenti. Una volta attraversato l’Atlantico, il segnale era troppo debole per azionare il registratore a tamburo, così dovettero usare il galvanometro a specchio, un dispositivo molto più sensibile inventato dal fisico britannico William Thomson. Uno specchio, delicatamente sospeso con un minuscolo magnete incollato sul retro, rifletteva luce proveniente da una lampada a cherosene. Nelle vicinanze vi era una bobina collegata al cavo sottomarino. Quando la corrente che trasportava il segnale passava attraverso il cavo, la bobina diventava un elettromagnete che faceva girare leggermente il piccolo magnete permanente con lo specchio attaccato a esso, il quale a sua volta dirigeva la luce riflessa della lampada a cherosene contro un foglio di carta bianca. Persino il più debole dei segnali transoceanici diventava visibile. Anticipando il segnale, gli osservatori proiettavano la luce brillante della loro lampada a cherosene sullo specchio. E stava in attesa, ora dopo ora, nella fredda e umida notte, sperando che una corrente elettrica passante per 4320 miglia di oceano facesse danzare su un fradicio foglio un minuscolo puntino di luce riflessa.

Nella loro trasferta, gli astronomi seguirono le rigorose procedure che avevano carpito nelle campagne per la longitudine condotte sia da Gould sia da Dean durante la guerra civile. La squadra di Gould ricevette il primo segnale il 24 ottobre 1866; nelle settimane che seguirono, Gould e i suoi telegrafisti riuscirono a racimolare quattro ulteriori scambi nei brevissimi intervalli di bel tempo astronomico. Dall’altra parte dell’oceano (a Terranova), gli sforzi di Dean per ritrasmettere il segnale giù fino a Boston ebbero molto meno successo. Lungo le mille e cento durissime miglia in cui il cavo si snodava da Heart’s Content al suo punto di ingresso negli Stati Uniti a Calais (Maine) la comunicazione cadeva “giorno dopo giorno, e settimana dopo settimana”. Nulla sembrava funzionare. Finché l’11 settembre, una violenta gelata colpì la linea difettosa che via terra arrivava a Calais. Il ghiaccio isolò mirabilmente il filo e l’impulso lo attraversò come un fulmine da Heart’s Content a Calais. Poco prima del capodanno 1867, il gruppo di Terranova giunse al porto di Boston con in tasca la differenza di longitudine tra gli osservatori di Harvard e di Greenwich.⁸²

Una volta cablato l’Atlantico per stabilire la simultaneità, la mappa elettrica del mondo doveva estendersi sempre più velocemente. Subito dopo la collaborazione tra

britannici e americani, i francesi portarono una linea da Brest attraverso St. Pierre (al largo di Terranova) fino a Duxbury (Massachusetts). Il topografo-astronomo americano Dean e la sua peripatetica équipe tornarono quasi immediatamente ai posti di combattimento, cominciando a pianificare con le autorità navali francesi un nuovo controllo del tempo. Messa al sicuro la linea Brest-Parigi, i topografi poterono dedicarsi al loro sogno: una serie di triangolazioni che sarebbero servite da duplice controllo dei loro risultati sulle longitudini. Per esempio, se si andava da Brest a Parigi, poi a Greenwich, e infine di nuovo a Brest, la somma delle differenze tra le longitudini doveva dare (e di fatto dava) zero:

$$(\text{Brest-Parigi}) \text{ più } (\text{Parigi-Greenwich}) \text{ più } (\text{Greenwich-Brest}) = 0^{83}$$

Il tenente della marina francese de Bernardières sapeva fin troppo bene che i suoi colleghi britannici e americani stavano marciando alla conquista della longitudine. Nella primavera del 1873, su istigazione dei suoi superiori, il tenente della marina statunitense, il comandante Francis Green aveva cominciato a inviare segnali orari transoceanici per le mappe delle Indie Occidentali e dell’America Centrale. Solcando i mari sul battello a ruote *The Gettysburg*, l’équipe di Green riuscì a stabilire con precisione le longitudini di Panama, Cuba, Giamaica, Porto Rico e di molte altre isole.⁸⁴ Al suo ritorno, nel 1877, le autorità gli affibbiarono un nuovo incarico, chiedendogli ora di sfruttare i nuovi cavi telegrafici lungo l’Atlantico: da Londra a Lisbona a Recife, nel nord-est del Brasile. Per la prima volta la marina americana era in grado di assolvere ai propri affari idrografici lungo l’intera costa orientale del Sud America, da Para a Buenos Aires. Finalmente, si sentiva dire, sarebbe stata risolta la controversa collocazione di posti come Fort Villegagnon (nella Baia di Rio de Janeiro), la cui longitudine era stata in precedenza rilevata con scarti sorprendenti di trenta secondi, ossia con un’incertezza di otto miglia sul punto in cui una nave avrebbe toccato la sponda orientale del Sud America.

Con l’aiuto dei francesi, che sparavano lungo i cavi i loro segnali parigini fino a Lisbona, anche i portoghesi poterono unirsi al progetto di una mappa globale basata su Greenwich.⁸⁵ L’équipe inviata per lo studio della longitudine si fermò a Porto Grande, al largo della costa brasiliana, in attesa che la “stagione malsana” si placasse, prima di sbarcare a Pernambuco: “Non c’è posto in cui passare due o tre settimane meno interessante di Porto Grande”, brontolarono gli americani. “L’isola di San Vincenzo non è che un cumulo di cenere.”⁸⁶ Alla fine gli astronomi saltarono su un postale reale a vapore diretto a Pernambuco e misero la macchina in moto: un impulso doveva partire dall’Osservatorio di Greenwich e giungere alla Fine della Terra; scendere lungo le 828 miglia di cavi sottomarini; uscire dalla stanza degli strumenti della Compagnia orientale dei telegrafi vicino al faro di Carcavellos, e di nuovo dall’Osservatorio Reale di Lisbona; attraversare l’Atlantico e penetrare nelle fondamenta dell’Arsenale navale brasiliano; risalirne i muri attraverso un filo isolato, arrivando al tetto dell’ufficio del capitano del porto, quindi in piazza, tra le terrazze, e infine giù a uno dei galvanometri a specchio di Thomson, per deviare il suo fascio di luce bianca.

Sottile, evanescente e inaffidabile. Tuttavia, quando quell’impulso elettrico

raggiunse finalmente Rio nel luglio 1878, l'impresa assunse significato regale. L'imperatore del Brasile Pedro II era stato negli Stati Uniti durante il 1876 ed era in seguito partito per un lungo tour in Europa: aveva visitato Troia insieme a Heinrich Schliemann, ricevuto la comunione al Santo Sepolcro di Gerusalemme e fatto baldoria con la figlia della regina Vittoria e suo marito a Vienna. A Parigi, l'Accademia delle Scienze lo accolse come socio straniero; Victor Hugo lo ricevette a una celebrazione letteraria. Tornato a Londra, pranzò con la regina al Castello di Windsor. Assolti gli impegni pubblici, nonché altri privati non meno divertenti, Pedro tornò a Rio con una certa riluttanza. Nulla al mondo avrebbe, però, tenuto sua Maestà lontano dal decrepito osservatorio del tenente comandante Green e gli avrebbe impedito di essere testimone dell'elettrico arrivo dell'ora europea.⁸⁷

Oggi, la parola "osservatorio" può evocare un'immagine romantica: un emisfero luccicante appollaiato sul picco scosceso di una montagna; l'astronomo, da una fessura aperta sul cielo, ruota il grande telescopio di bronzo scrutando la volta celeste, mentre assistenti in camice bianco si muovono silenziosamente al suo fianco. Ma non era così per Green e la sua équipe della marina statunitense: arrivavano in una città (per esempio, Porto Grande) e mettevano su bottega. Decisivo era, ovviamente, trovare una postazione con una buona vista del cielo vicina all'ufficio del telegrafo. Dovevano poi tracciare una linea meridiana (nord) sul terreno e costruire un pilastro di mattoni e cemento. Sulla sua sommità gli astroesploratori collocavano una piccola lastra di marmo che portavano con sé e, sopra di essa, la loro preziosa equatoriale di bronzo, attraverso la quale potevano osservare le stelle mentre attraversavano un filo di ragnatela che segnava la linea meridiana. Ci voleva circa un'ora perché due marinai-astronomi riuscissero ad assemblare il loro osservatorio portatile di legno (2,43 X 2,43 metri), con una tettoia di tela in caso di pioggia. In questa minuscola stazione Green stipava orologi, tastiere di telegrafo, nonché un registratore a tamburo o un galvanometro di Thomson per vedere il segnale in arrivo. Quando l'osservatore aveva bisogno di un telegrafista al suo fianco, nella stanza regnava un'atmosfera, per così dire, intima.

Accontentato Pedro II con la mappatura elettrica di Rio, la marina americana riprese il viaggio. All'inizio del 1883, Washington spedì l'équipe sulla costa occidentale dell'America del Sud, anch'essa unita al sistema telegrafico dai cavi. La nuova spedizione seguiva quelli che partivano da Galveston (Texas) e attraversavano Vera Cruz, la città infestata dalla febbre gialla nel Messico sud orientale. Riportata Vera Cruz nella mappa elettrica del mondo, l'équipe si imbarcò alla volta della costa occidentale del Sud America, nella speranza di sfruttare il cavo che collegava Salina Cruz (Messico sud orientale) a Valparaiso (Cile). Fu messa, però, in quarantena a New Orleans e a Galveston, arrivando in Perù nel bel mezzo dell'occupazione militare.

Grazie all'intervento del rappresentante diplomatico americano in Perù, Mr. S.L. Phelps, l'ammiraglio dell'esercito cileno occupante promise di assistere gli ambasciatori del tempo. Da Lima, gli uomini della marina partirono per il sud il 13 ottobre 1883, allacciando Valparaiso alla capitale peruviana; all'inizio del 1884, stavano montando il loro osservatorio di legno a Paita (Perù). Per la prima volta in sette anni una pioggia martellante inzuppò l'essicata cittadina: "la terra, solitamente

arida e polverosa, si tramutò in una palude fetida e malsana [...] l'intera cittadina [...] divenne pressoché inabitabile".⁸⁸ Inoltre, "le stazioni operative peruviane", annotavano gli americani, "erano talvolta adibite a postazioni militari da un esercito di invasione, e i tecnici dell'osservatorio dovevano scontrarsi con l'atteggiamento dilatorio e, nel caso del comandante militare di Arica, con l'indifferenza e la stupidità, degli ufficiali", per non parlare dei ritardi alle dogane, della nebbia e delle rotture dei cavi. Ciononostante, il 5 aprile del 1884 gli ufficiali americani salparono verso New York con le loro longitudini sudamericane.⁸⁹



Figura 3.9 Osservatorio portatile: Bahia, Brasile. Ufficiali della Marina americana mentre determinano la simultaneità - e, dunque, le differenze di longitudine - per costruire mappe più precise delle Americhe. Le spedizioni condotte da squadre francesi, britanniche e americane erano in parte scientifiche, in parte militari, e in parte esplorative; gli "osservatori astronomici" spesso non erano che baracche portatili di legno con uno scarso equipaggiamento per la telegrafia elettrica: qualche magnete, degli specchi e un telescopio per i rilevamenti. Tutto ciò ebbe, però, un costo: numerosi rilevatori morirono a causa di malattie e incidenti, mentre cercavano di portare la simultaneità elettrica sulle spiagge delle Americhe, dell'Asia e dell'Africa. *Fonte:* Green (1877, frontespizio).

Nei minuscoli e sperduti osservatori, le sentinelle del tempo americane, britanniche e francesi leggevano i cieli e li confrontavano con gli impulsi che venivano dai cavi. Le stelle comunicavano a ogni stazione la sua ora locale, mentre i cavi le sussurravano l'ora di qualche altro posto. Era una fatica del diavolo, che richiedeva risultati precisi, cavi solidi e un lavoro di squadra ben orchestrato. Uno dei collaboratori di de Bernardières si era appollaiato con la sua stazione vicino alle rovine della città di Chorillos, appena a sud di Lima. Un altro aspettava accanto al suo telegrafo nell'osservatorio della Scuola navale di Buenos Aires. Collegando i vari fili, de Bernardières cominciò a inviare segnali elettrici da Valparaiso a Panama. Lungo la rotta, addetti ai ripetitori erano impegnati a far sì che il segnale procedesse senza interruzioni: la debolissima corrente solleticava lo specchio; la luce riflessa tremolava. Non appena vedeva muoversi il puntino luminoso, l'operatore rilanciava il segnale. A partire dal 18 gennaio 1883, mentre gli americani stavano ancora preparando le casse a Washington per la loro spedizione lungo le coste del Perù e dell'Argentina, i francesi approfittarono di tre splendide serate dal punto di vista astronomico ed elettrico. Subito dopo la loro ultima misurazione, il cavo sottomarino che portava a Panama si spezzò, interrompendo le comunicazioni tra i loro minuscoli osservatori e Parigi. Ma avevano i risultati: la longitudine dell'asta della bandiera

sulla Borsa di Valparaiso era situata a 4 ore, 55 minuti e 54,11 secondi prima della sala delle rilevazioni temporali di Montsouris, migliaia di miglia a est.

Fu dopo questo intenso periodo di competizione e collaborazione con gli americani che, il 7 aprile 1884, de Bernardières lanciò il suo appello ai colleghi dell'Accademia di Parigi. Nel rapporto esortava gli scienziati a cogliere le nuove possibilità che si erano aperte per la topografia francese: due grandi oceani erano stati appena collegati attraverso il Sud America grazie al telegrafo, con cavi che si snodavano a oltre tremila e cinquecento metri di altezza lungo le formidabili Ande. Per de Bernardières, il *Bureau des Longitudes* di Parigi doveva ora pensare di creare “un’immensa rete geodetica che circondasse l’intero Globo, fissandone con precisione forma e dimensioni”.⁹⁰

La marina francese appoggiò il progetto, prestando ufficiali, marinai e *matériel*. De Bernardières stesso si sarebbe installato a Santiago, nei pressi di Valparaiso, e altri avrebbero trasmesso l’ora a nord, a Lima e Panama, e poi lungo tutto il continente fino a Buenos Aires. Solo pochi mesi prima, la compagnia americana *Central and South American Cable* aveva posato la linea sottomarina da Lima a Panama. Collegandosi a una linea già stabilita che da Panama andava attraverso le Grandi Antille, l’America del Nord, fino in Europa, de Bernardières e i suoi colleghi vi aggiunsero un filamento che conduceva dritto fino a Parigi. Vi erano anche altre linee che da Valparaiso portavano a Buenos Aires, alle isole del Capo Verde e infine in Europa; il tutto costituiva un vasto circuito di circa 20.000 miglia di rame ricoperto di guttaperca, che consentiva alle due rotte di controllarsi reciprocamente.

Dalla missione americana di Green e da quella francese di de Bernardières doveva risultare un gigantesco e mondiale poligono di simultaneità, con vertici a Parigi, Greenwich, Washington, Panama, Valparaiso, Buenos Aires, Rio de Janeiro e Lisbona. Sorprendentemente, questo ottagono irregolare, calcolato in due direzioni differenti, non si chiudeva per meno di 137 metri. Dei raggi si proiettavano dal poligono verso l’Asia, dove gli americani stavano cercando di afferrare elettricamente i contorni dell’India, mentre i francesi, da una fragile capanna di bambù, con un’esigua attrezzatura elettrica, un po’ di equipaggiamento astronomico e la cima di un cavo, cominciavano la loro rilevazione elettrica di Haiphong.⁹¹

La rete planetaria dei cavi e segnali orari francesi si irradiava a est, a ovest, a nord e a sud di Parigi. Gli astronomi ne plasmarono gran parte del carattere; di contro, la macchina delle longitudini trasformò i loro osservatori. Si consideri, per esempio, il quarto volume degli *Annales du Bureau des Longitudes*, che nel 1890 si apriva con un resoconto dell’Osservatorio di Bordeaux. Quali che fossero i risultati delle ricerche, chiariva il rapporto, l’Osservatorio non era stato costruito né per esplorare nuovi fenomeni né per trovare il posto dell’uomo nel cosmo. No, la città di Bordeaux, come tantissime altre, si era dotata di un osservatorio per regolare i cronometri delle navi, in modo che queste potessero determinare la loro longitudine in mare.⁹² Ciò significa che il compito primario dell’Osservatorio era di stabilire la sua propria longitudine - cosa che fece il 19 novembre 1881, tramite lo scambio di segnali orari telegrafici con Parigi, e che gli permise di collocarsi 11 minuti e 26,444 secondi a ovest della capitale - più o meno un ottomillesimo di secondo.

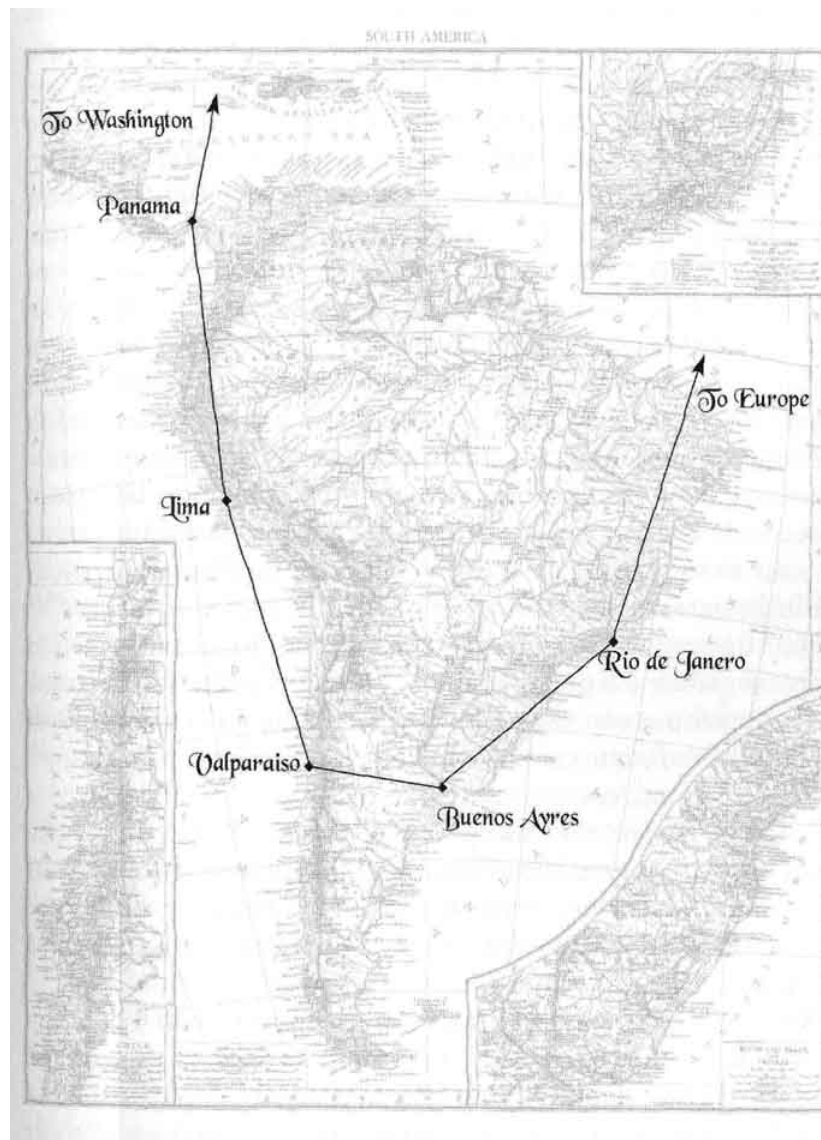


Figura 3.10 I cavi del tempo in Sud America. Uno dei più importanti esploratori di longitudine francesi, de Bernardières, fece a gara con gli americani per completare una rete cartografica basata sulla determinazione elettrica del tempo e collegata all'Osservatorio di Parigi. Il francese esortò i colleghi dell'Accademia delle Scienze a promuovere la realizzazione del poligono qui abbozzato: "un'immensa rete geodetica che avrebbe abbracciato il mondo intero". *Fonte:* Mappa modificata da *The Times Atlas*, London, Office of the Times, 1986.

Città dopo città, paese dopo paese, il *Bureau des Longitudes* estese la propria rete di punti fissi longitudinali, dapprima alla nazione, tirando cavi telegrafici da Parigi alle più distanti località francesi, poi alle remote colonie, tramite una miriade di cavi sottomarini. Nel 1880 riposavano sul fondo dell'oceano novantamila miglia di cavi per lo più britannici, una macchina da novanta milioni di sterline che collegava tutti i continenti abitati, tagliando per il Giappone, la Nuova Zelanda, l'India, attraverso le Indie Occidentali, le Indie Orientali, l'Egeo. La competizione per le colonie, le informazioni, il trasporto navale e il prestigio portarono inevitabilmente le grandi potenze a scontrarsi sulle reti telegrafiche. In quei circuiti di rame fluiva il tempo, e nel tempo la ripartizione della mappa del mondo nell'era dei grandi imperi.

Più le mappe si fondevano, più cresceva il consenso sulla necessità di un meridiano fondamentale universalmente riconosciuto. Quest'arco originario avrebbe elevato la

capitale di una nazione a centro simbolico di qualsiasi mappa globale. Ogni orologio e ogni misurazione di longitudine nel mondo avrebbero dovuto far riferimento al morto centro dell'equatoriale di un singolo paese. Nonostante lo scontro immediato vertesse su una centralità simbolica, piuttosto che sul controllo dei territori, nessuno ne sottovalutò l'importanza. Per diplomatici e scienziati, il mezzogiorno di fuoco sarebbe arrivato il 1° ottobre 1884 a Washington, nella Sala diplomatica del Dipartimento di Stato americano.

LA BATTAGLIA SULLA NEUTRALITÀ

Due anni prima dell'incontro, nell'agosto del 1882, il Presidente Chester A. Arthur e il Congresso americano avevano approvato una risoluzione in cui si annunciava la convocazione a Washington di una conferenza internazionale per stabilire un unico e universale meridiano fondamentale.⁹³ Mentre i politici americani raggiungevano un consenso unanime, un gruppo di delegati scientifici si riuniva per una conferenza di geodesia a Roma nell'ottobre 1883. L'astronomo svizzero Adolphe Hirsch riferì delle loro deliberazioni, a cominciare dalla celebrazione della rete di longitudini telegrafiche che aveva finalmente specificato punti di riferimento in tutto il continente europeo. Poiché molti paesi producevano mappe in cui le loro capitali occupavano il punto zero di longitudine, era sorta una nuova questione: era possibile ricondurre tutti questi punti di riferimento a una singola e unica linea meridiana fondamentale? Ebbene, riferiva Hirsch, era venuto il momento di mettere da parte gli ideali di una scienza avulsa dal mondo e di dare invece un contributo che, in modo assai più profondo, avrebbe unito la scienza all'ampio dominio della pratica. Le grandi nazioni avevano l'opportunità di aiutare la navigazione, la cartografia, la geografia, la meteorologia, il trasporto ferroviario e la comunicazione telegrafica. Era tempo, una volta per tutte, di scegliere un unico meridiano fondamentale. E poiché la Terra era una sfera, insisteva Hirsch, *non vi era alcun meridiano fondamentale naturale*. Una latitudine fondamentale - l'equatore - era individuata in maniera naturale dalla rotazione terrestre. Ma la "natura" non aveva scelto alcun meridiano fondamentale. Persino il polo nord magnetico non poteva essere usato per selezionare alcuna particolare longitudine come fondamentale, dal momento che il nord magnetico vagava nel tempo. No, la scelta di un meridiano fondamentale era necessariamente arbitraria, e dunque soggetta a ragioni "puramente pratiche e convenzionali [*conventionelle*]".

Ecco un tema che gli esperti ribadivano di continuo: lo scambio di idee, di prodotti e di persone richiedeva nuove istituzioni internazionali, sia pure rispettose dell'individualità delle nazioni. Le convenzioni globali dovevano prevalere su quelle locali. L'unificazione di poste e telegrafi abbracciava ormai il mondo intero. La Convenzione del metro univa la maggioranza dei paesi civilizzati; vi erano convenzioni sugli standard elettrici, sulla difesa della proprietà intellettuale, artistica e industriale, sulla protezione dei soldati in guerra. Persino le stesse associazioni geodetiche testimoniavano come un obiettivo puramente scientifico - la determinazione della forma esatta della Terra - potesse promuovere una simile

coordinazione tra le nazioni. Hirsch insistette che era venuto il momento di trovare una soluzione pratica all'unificazione della longitudine; la conferenza raccomandò così che Greenwich divenisse il meridiano fondamentale, con un cambio di data nell'antimeridiano, dalla parte opposta della Terra.⁹⁴

Un anno dopo Roma, i delegati della Conferenza di Washington si riunirono con il Segretario di Stato Frederick T. Frelinghuysen presso il Dipartimento di Stato. Preparando e approvando una rigorosa documentazione della Conferenza man mano che essa procedeva, politici e scienziati si unirono nella battaglia sul punto zero di longitudine. Certamente Poincaré lesse questi atti; li citò persino *verbatim* nei suoi ultimi articoli. Insieme con molti altri che li studiarono, fu testimone del connubio inestricabile di politica, filosofia, astronomia e topografia.

Dopo un benvenuto formale da parte del Segretario di Stato, in cui questi rinunciava di proposito a stabilire il meridiano fondamentale negli Stati Uniti, Lewis M. Rutherfurd, membro della delegazione americana, diede fuoco alle polveri proponendo, come aveva fatto alla Conferenza di Roma, che il meridiano fondamentale passasse attraverso il centro dell'equatoriale situata nell'Osservatorio di Greenwich. Il ministro plenipotenziario francese e console generale del Canada, Albert Lefaivre, invitò immediatamente alla prudenza, sminuendo la decisione romana come accordo tra meri "tecnici". A Washington avrebbe dovuto prevalere il punto di vista più elevato dei politici: "Inoltre, è nostro privilegio essere filosofi e cittadini del mondo, e contemplare gli interessi dell'umanità non solo per il presente, ma anche per il più lontano futuro".⁹⁵ Solo una prospettiva così distaccata consentiva di considerare i principi. Rinunciando a ogni pretesa, gli americani proposero che la Conferenza si limitasse ad approvare l'idea di un unico meridiano fondamentale.

La ritirata, però, suonò come un'offesa per i britannici. Il capitano Sir F.J.O. Evans della Marina Reale protestò, ricordando che Roma aveva già ristretto la questione: il meridiano fondamentale avrebbe dovuto bisecare un grande osservatorio, non una montagna, uno stretto o un monumento. La scienza, dopo tutto, richiedeva precisione, non un vago omaggio a una configurazione naturale della Terra. E la lista dei grandi osservatori non era lunga: Parigi, Berlino, Greenwich e Washington.⁹⁶ Il comandante Sampson della marina degli Stati Uniti si dichiarò d'accordo, sostenendo che l'osservatorio prescelto doveva avere i collegamenti telegrafici con il resto del mondo richiesti dalla trasmissione del segnale orario: "Possiamo allora dire che, da un punto di vista puramente scientifico, qualsiasi meridiano può essere considerato quello fondamentale". Ma le opzioni diminuivano se si pretendevano convenienza ed economia, e la scelta si restringeva in maniera considerevole se il meridiano fondamentale doveva passare attraverso un Osservatorio ben collegato e sostenuto dal proprio governo. Se, infine, si riconosceva che qualunque meridiano diverso da quello britannico avrebbe comportato la modifica delle mappe per il settanta per cento dei trasporti navali che impiegavano il meridiano di Greenwich, vi era un'unica scelta da fare: Greenwich, appunto.⁹⁷ Incoraggiato dagli applausi congiunti delle delegazioni britannica e americana, Rutherfurd si aggiunse all'assedio di Parigi: "L'Osservatorio parigino è situato nel cuore di una grande e popolosa città", soggetta al movimento dell'aria, ai tremori della Terra. Avrebbe dovuto dunque essere spostato. "La sola cosa che lo tiene lì è il ricordo della sua onorevole carriera passata."⁹⁸

Nient'affatto, replicò l'astronomo e delegato francese Jules Janssen. L'Osservatorio di Parigi rimaneva vitale perché era collegato elettricamente a tutti gli altri maggiori osservatori, e poiché le sue capacità erano ben documentate dall'impiego di una mappatura telegrafica paragonabile a quella di Greenwich. Occorreva guardare alla storia: seguendo Tolomeo, il Cardinale Richelieu aveva collocato il meridiano fondamentale sull'isola di Ferro, nelle Canarie. Ma l'estremo orientale di Ferro emergeva dal mare circa $19^{\circ}55'03''$ a ovest di Parigi, sicché i conti diventavano difficili. Gli astronomi francesi del XVIII secolo avevano semplificato i calcoli della longitudine decretando che il meridiano fondamentale dell'isola di Ferro si trovava, per legge, esattamente 20 gradi a ovest di Parigi. Poiché neppure gli astronomi francesi erano in grado di spostare fisicamente l'isola di Ferro $4'57''$ a est, Janssen ammetteva che la convenzione che collocava a Parigi il meridiano fondamentale era una finzione.

Non che non ne capisse di politica: sapeva che la probabilità di sostituire come meridiano fondamentale Greenwich con Parigi (travestita da Ferro) era nulla. Tuttavia, non era tipo da arrendersi facilmente. (Durante l'assedio di Parigi del 1870, nonostante il vento violento, era decollato su una mongolfiera diretta in Algeria per osservare un'eclissi.) Bisognava giocare una carta più alta della tolemaica (e ora francese) Isola di Ferro, dato che la Conferenza cominciava a scivolare verso la peggiore delle decisioni. "Invece di stabilire il solenne principio che il meridiano che deve essere offerto al mondo come punto di partenza di tutte le longitudini terrestri debba avere, sopra ogni altra cosa, un carattere essenzialmente geografico e impersonale, occorre chiedersi quale dei meridiani in uso fra i differenti osservatori abbia (se mi è consentito di usare l'espressione) il maggior numero di clienti."⁹⁹

Clienti. Il solo pensiero offendeva una sensibilità razionale (francese). Janssen sperava che clienti e dogane non gettassero fumo industriale (britannico) in faccia ai principi filosofici (francesi). Vi era, ricordò all'assemblea, la lunga tradizione degli ingegneri idrografici francesi; vi era l'almanacco, la *Connaissance des Temps*, che godeva di rispetto universale. E, non ultimo, i colleghi dovevano ricordare che erano stati i francesi, ai tempi della Rivoluzione, ad aver abbandonato il *pied de Roi* come unità di misura in favore del razionale metro. La scienza nazionale doveva dare scacco ai commerci regali.¹⁰⁰ Così Janssen: "Non c'è dubbio che, in ragione del nostro lungo e glorioso passato, delle nostre grandi pubblicazioni, dei nostri importanti lavori idrografici, un cambiamento di meridiano sarebbe per noi un pesante sacrificio. Ciononostante, se altri daranno prova di volersi sacrificare e mostreranno un sincero desiderio di perseguire il bene comune, la Francia ha dato sufficienti dimostrazioni del suo amore per il progresso da garantire la sua cooperazione". Un accordo ragionevole, concluse Janssen, non poteva proteggere solo una delle parti contraenti.¹⁰¹ In altre parole, si doveva collocare il centro mondiale della longitudine in un qualsiasi posto neutrale. Ovunque, tranne che a Greenwich.

Quatto quatto, entrò in scena l'astronomo britannico John Couch Adams. Si trattava di quell'Adams la cui opera aveva già dato adito a due scaramucce con i francesi; la prima, in relazione alla questione della priorità della scoperta di Nettuno; la seconda, quando aveva contraddetto i risultati del grande Laplace sul moto della Luna. Noi non siamo belligeranti, sottolineò, siamo tutti neutrali, come avviene in

tutte le questioni scientifiche. Non stiamo spartendo il territorio dopo una guerra, ma rappresentiamo in maniera amichevole nazioni amiche. Qual è la scelta più conveniente per il mondo nel suo complesso? Dovremmo mirare alla scelta più conveniente senza ricorrere a finzioni legali, senza che un osservatorio faccia da prestanome a un altro (Ferro per Parigi), e chiamando le cose “con il loro vero nome”. Decisioni pratiche e risolutive, questo era l’ordine del giorno: “Era chiaro che se tutti i delegati presenti fossero stati guidati da considerazioni meramente sentimentali, o *dal’amour propre*, la conferenza non sarebbe mai giunta ad alcuna conclusione”. All’accusa di vanità rivolta ai francesi, Janssen replicò tacciando i britannici di volgere auto-indulgenza:

Riteniamo che una riforma che consista nel dare a una questione geografica una delle peggiori soluzioni possibili, semplice in ragione della comodità pratica, vale a dire del vantaggio per voi stessi e per coloro che rappresentate, di non dover cambiare nulla nelle vostre mappe, abitudini o tradizioni - una tale soluzione, dico, non può avere alcun futuro e noi rifiutiamo di prendervi parte.¹⁰²

Leali alle questioni pratiche e commerciali, gli americani si schierarono con i britannici. “Che cosa vuol dire neutrale?”, chiese Cleveland Abbe. Si parla di neutralità dal punto di vista storico, geografico, scientifico o aritmetico? È vero, la Francia ci ha dato pesi e misure neutrali. Ma l’arbitrarietà di queste misure è possibile in virtù dei pesi e delle misure standard che ne costituiscono il riferimento. Un sistema “neutrale” della longitudine è “un mito, una fantasia, una finzione poetica”, a meno che non si spieghi esattamente come ottenerlo.¹⁰³

Janssen ribatté che un punto neutrale avrebbe avuto due vantaggi, uno geografico, l’altro morale. La scelta dello Stretto di Bering avrebbe trasferito il meridiano fondamentale lontano da tutti i centri popolati soggetti al cambio legale della data e separato nettamente il Globo in Vecchio e Nuovo Mondo. Oppure, se non si voleva lo Stretto di Bering, poteva andar bene un altro punto fisico notevole; far passare il punto zero del tempo e della longitudine per le Azzorre sarebbe costato meno che farlo passare per lo Stretto di Bering, dal momento che i cavi telegrafici correvano già nelle vicinanze. In entrambi i casi, il punto zero di longitudine sarebbe stato definito in corrispondenza a osservatori dotati di collegamenti telegrafici, e non nel centro esatto di quelle località. (Janssen aveva appena accennato alle eccellenti connessioni elettriche dell’Osservatorio di Parigi.) Con esplicita allusione ad Adams, egli esortò i colleghi a rammentare la “vivace discussione” sollevata dalla stampa inglese e francese a proposito della scoperta di Nettuno (entrambe le parti ne avevano rivendicato la priorità). E volgendo lo sguardo al passato, sottolineò come le battaglie sul Calcolo del XVII secolo, che avevano visto scontrarsi i sostenitori di Newton e quelli di Leibniz, fossero state segnate da analoghe tensioni tra continentali e britannici: “L’amore per la gloria è una delle più nobili motivazioni degli uomini; dobbiamo inchinarci di fronte a esso, ma dobbiamo anche stare attenti a non permettere che dia cattivi frutti”.¹⁰⁴

Pur messo in minoranza, Janssen non mollò: per quanto potessero esservi ragioni economiche a favore di Greenwich, Washington, Parigi, Berlino, Pulkovo, Vienna o Roma, tali scelte sarebbero state necessariamente artificiose. “Quale che sia la nostra

decisione, il meridiano fondamentale resterà sempre una corona pretesa da un centinaio di teste. Poniamo la corona sul capo della scienza, e inchiniamoci di fronte a essa.” Sì, rispose un rappresentante anglosassone, ma *qualunque* sia il posto scelto, esso apparterrà pur sempre a un determinato paese. Nient’affatto, ribatté Janssen; l’equatore è neutrale, anche se attraversa nazioni. Il generale inglese Strachey protestò contro la distinzione tra una longitudine geografica e una astronomica -”La longitudine è longitudine”. Certo che no, si arrabbiò Janssen. Come ogni altra misura, la longitudine dipende dal contesto. “Per determinare un equivalente chimico non dobbiamo forse eseguire una pesatura di tipo completamente diverso da quella commerciale? Eppure, sempre di peso si tratta.”¹⁰⁵

Cleveland Abbe, che con la *American Metrological Society* aveva duramente combattuto per l’unificazione del tempo, mise in dubbio il carattere naturale della nozione di “neutrale”. Che cosa sarebbe successo se la Russia avesse riconquistato il territorio al di qua dello Stretto di Bering? E se l’America avesse acquistato metà della Siberia? “Quel punto [nel mezzo dello Stretto di Bering] non è affatto cosmopolita.” Solo le stelle che brillano alte sulla Terra, e sopra ogni umana opinione, avrebbero potuto essere considerate neutrali.¹⁰⁶

Proprio così, esclamò Sandford Fleming. Abituato a trattare del trasporto di merci e di persone, dichiarò che la proposta francese di “un meridiano neutrale [era] eccellente in teoria, ma temo [...] del tutto impraticabile”. Carte alla mano, elencò una sfilza di numeri tratti da un rapporto sul traffico marittimo guidato dai vari meridiani fondamentali: Greenwich, 72 per cento del tonnellaggio; seguita da Parigi, 8 per cento, con gli altri meridiani a dividersi il resto. Forse per dare un contentino ai suoi colleghi francesi, Fleming propose di collocare il meridiano fondamentale esattamente a 180 gradi da Greenwich, in mezzo alla parte “disabitata” del Pacifico.¹⁰⁷ Una mossa del genere avrebbe lasciato, aggiunse, gli eventi astronomici praticamente immutati nelle carte basate su Greenwich: bastava invertire mezzogiorno e mezzanotte, sostituire le due del mattino con quelle del pomeriggio, e così via. Dal punto di vista diplomatico, un simile spostamento della linea longitudinale fondamentale dai sobborghi di Londra non poteva ingannare alcuno, tanto meno i francesi, che la sapevano lunga sui meridiani fondamentali per procura, come testimoniava il ricorso all’isola di Ferro. La proposta di un meridiano neutrale andò così ai voti: i francesi si espressero “a favore”, seguiti solo dal Brasile e da Santo Domingo. Tutte le altre ventiquattro nazioni si pronunciarono contro.

Parlando in nome della Francia, Lefaivre osservò scuro in volto che nella discussione non vi era traccia di astronomia, geodesia e navigazione. A chi gli ricordava il discorso sui tonnellaggi caro ad americani e britannici, rispose che “l’unico merito del meridiano di Greenwich [...] era] che intorno a esso sono raggruppati interessi che vanno rispettati, lo riconosco volentieri, per la loro ampiezza, la loro energia e la loro capacità di espansione, ma che non hanno alcuna relazione con l’imparziale sollecitudine della scienza”. Nessuna ragione, neutralità, imparzialità - solo puro e semplice commercio. Lefaivre ammetteva che l’Impero avesse vinto per abilità commerciale - ma non in altri campi:

Ebbene, signori, se pesiamo queste ragioni - [le] sole che al momento militano a favore del meridiano di Greenwich -, non è evidente che sono queste superiorità materiali, queste priorità commerciali a influenzare la vostra scelta? La scienza appare qui solo come l'umile vassallo dei poteri che oggi sono da consacrare e ne incorona il successo. Ma, signori, nulla è transitorio e fugace quanto il potere e le ricchezze.

Tutti gli imperi sono caduti, e anche questo passerà. La scienza non va incatenata e subordinata. E quale ricompensa vi sarà per l'abbandono del meridiano francese? Stati Uniti e Gran Bretagna si degneranno forse di adottare il sistema metrico? No. "Siamo semplicemente invitati a immolare tradizioni care alla nostra marina, alla scienza nazionale, per di più al prezzo di enormi sacrifici finanziari." Sir William Thomson, il decano degli scienziati che partecipavano alla conferenza, confermò quasi *in toto* l'opinione di Janssen: si trattava di un "accordo d'affari", non di una questione scientifica. Fu subito presentata una mozione in favore dell'adozione del "meridiano passante attraverso l'equatoriale dell'Osservatorio di Greenwich come meridiano iniziale". Santo Domingo votò contro la santificazione di Greenwich; il Brasile e la Francia si astennero. Ventuno nazioni si pronunciarono a favore.¹⁰⁸

Il sistema mondiale della longitudine fu al centro di altre questioni, che avevano senso solo in un mondo ricoperto di cavi per l'elettrificazione del tempo. Di fatto, l'intera conferenza poteva essere letta come un'estensione del conflitto intorno al nuovo mondo cablato per la distribuzione elettrificata del tempo. Il delegato degli Stati Uniti, W.F. Allen, fresco della vittoria sull'ora ferroviaria, presentò ai colleghi l'asintote logica di tutti questi sviluppi: "Tra le opportunità offerte dalle potenze dell'elettricità potrebbe esservi quella per cui il pendolo di un singolo orologio centrale, battendo i secondi, sarebbe in grado di regolare il calcolo del tempo locale in ogni città sulla faccia della Terra".¹⁰⁹

A simili fantasticherie temporali si opponeva un intero universo di costumi locali; la stessa domanda, apparentemente innocente, "Quando dovrebbe cominciare il giorno?" doveva sollevare numerosi dibattiti. Alcuni erano favorevoli a farlo iniziare all'antimeridiano di Roma, così da facilitare il calcolo delle antiche date del calendario gregoriano. Gli astronomi volevano che cominciasse a mezzogiorno per evitare di dividere la notte tra due date. Nel frattempo, il delegato turco osservò che l'impero ottomano ammetteva giorni che andavano da una mezzanotte alla successiva (*heure à la franque*), ma li calcolava anche in base alla bisezione del Sole da parte dell'orizzonte (*heure à la turque*): "Ragioni di carattere nazionale e religioso ci impediscono [...] di abbandonare questo modo di contare il tempo".¹¹⁰

Nonostante l'importanza di tali sincronizzazioni interculturali, nessuno alla Conferenza dubitava che lo scontro riguardasse Parigi e Greenwich. Sconfitti da una risoluzione dopo l'altra, i francesi conservavano un'ultima speranza: la decimalizzazione del tempo. L'ambizione per una misura del tempo razionale, scientifica, analoga al metro, aveva radici profonde a Parigi. Nell'Anno II della Rivoluzione francese, la *Convention* si era battuta per istituire un sistema decimale del tempo basato su "decadi" di dieci giorni (invece che su settimane), su giorni ripartiti in unità di dieci ore, e su angoli retti divisi in 100 e non in 90 parti. Alcuni degli orologi della Rivoluzione sono sopravvissuti; uno di questi (figura 3.11) presenta

un triangolo equilatero a tre colori, che stava a significare che, nel nuovo sistema di libertà, i mesi andavano divisi in parti uguali, con i giorni di riposo indicati dai vertici. Tra gli scienziati, pochi avevano adottato il nuovo sistema; l'aveva fatto, però, Laplace nella sua epocale *Meccanica Celeste*, e alcuni settori governativi avevano cercato persino di imporlo. Tuttavia, vista l'enorme e diffusa resistenza, Napoleone aveva finito per uccidere la decimalizzazione del tempo in un patto stretto con la Chiesa Cattolica Romana.¹¹¹

Janssen prese la parola per l'ultima volta, lanciando un appello in favore dell'instaurazione globale della mai realizzata decimalizzazione del tempo e del cerchio. La sua speranza - tradotta in una risoluzione - era che il sistema decimale, che stava entrando in uso nel commercio e nell'industria europei, potesse finalmente essere esteso anche al tempo. Trovandosi a dover affrontare un'opposizione pubblica analoga a quella che avevano incontrato i suoi rivoluzionari predecessori, Janssen cercò di rassicurare i colleghi: "Si è temuto che volessimo distruggere abitudini consolidate nei secoli, e sconvolgere usi stabiliti". Simili timori erano, però, ingiustificati. "Se abbiamo fallito all'epoca della Rivoluzione è stato perché abbiamo proposto una riforma che non era limitata all'ambito della scienza, ma faceva violenza alle abitudini della vita quotidiana." Questa volta il cambiamento non sarebbe stato obbligatorio per la gente comune, ma sarebbe stato imposto solo là dove era utile.

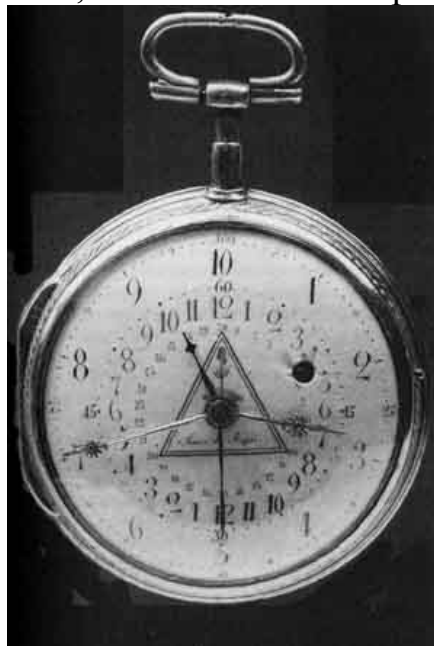


Figura 3.11 Orologio della Rivoluzione francese (1793 circa). Il triangolo equilatero significava che, nel nuovo regime di libertà, i mesi sarebbero stati divisi in parti uguali, con i giorni di riposo indicati dai vertici. Fonte: *Association Française des Amateurs d'Horlogerie Ancienne, Revue de l'Association Française*, vol. XX (1989), p. 211.

A ogni stadio della storia francese, le convenzioni relative a spazio e tempo, dal metro all'ora e alla longitudine, erano potentemente legate all'eredità della *Convention*. Ma per tutti i delegati, nonché per la ben più ampia comunità metrologica che essi rappresentavano, l'accordo sulle convenzioni spaziotemporali non fu mai una questione che riguardava soltanto la precisione delle mappe e la regolamentazione delle reti ferroviarie. Interpretare gli scontri che si ebbero nella conferenza di Washington come un passo dell'inesorabile marcia verso la razionalità

standardizzata significa misconoscere il carattere fluttuante, contingente, opalescente della sincronizzazione. Significa cioè perdere di vista l'intrecciarsi continuo di istanze pragmatiche e filosofiche, di astratto e concreto.

Dopo la sconfitta sul meridiano fondamentale, i delegati cercarono di accontentare i francesi sulla decimalizzazione del tempo, senza però sottoscriverne le ambizioni illuministiche e impegnarsi in qualsiasi progetto pratico per realizzarle. Alla fine, la Conferenza si limitò a esprimere “la speranza” in una futura ripresa degli studi tecnici sulla decimalizzazione del tempo.¹¹² Non era certo un grande risultato per i delegati di Parigi. Perché la loro causa potesse ottenere qualcosa di più di un voto conciliante privo d'effettiva importanza, i francesi avevano bisogno che una figura dotata di credenziali scientifiche stellari e di competenze notevoli nelle questioni ingegneristico-amministrative si ergesse a paladino della riforma radicale delle convenzioni sul tempo. Per quasi un decennio la questione doveva covare irrisolta negli ambienti tecnici francesi. Finché non entrò in scena Henri Poincaré.

4

LE MAPPE DI POINCARÉ

TEMPO, RAGIONE, NAZIONE

La resistenza francese non venne meno neppure dopo la fine della Conferenza mondiale sul tempo del 1884, che aveva sancito il passaggio del meridiano fondamentale da Greenwich. Janssen tornò a Parigi, ancora fumante di rabbia per la disfatta. Nella relazione tenuta all'Accademia delle Scienze il 9 marzo 1885, ricostruì, passo dopo passo, le battaglie dell'anno precedente, a cominciare da quella politica: gli americani avevano riempito la riunione di piccoli stati loro alleati. Per fortuna, rassicurò i colleghi, dando alle stampe un lungo discorso della delegazione francese, vi erano state anche delle vittorie. Americani e britannici, ricordò, erano scesi in campo contro i francesi uno dopo l'altro, a seconda delle competenze. “Nonostante l'autorità, il talento e il numero degli scienziati che hanno avversato il principio della neutralità del meridiano, ci sia concesso dire che tale principio ha retto ai colpi senza subire conseguenze e rivelare crepe dal punto di vista scientifico. Il meridiano proposto dalla Francia rappresenta ancor oggi la soluzione imparziale, scientifica e definitiva alla questione. Crediamo sia stato un onore per il nostro paese aver difeso simile causa.”¹ Janssen non era l'unico a essere scontento sul continente. L'abate Tondine de Quarenghi condusse una campagna nel 1889-1890 in nome dell'Accademia delle Scienze di Bologna perché il meridiano fondamentale fosse spostato a Gerusalemme, la Città Universale “per eccellenza”, centro dei tre continenti del mondo antico e santuario comune di tre religioni mondiali.²

Diversamente dalla Francia, la Germania non era turbata dal meridiano fondamentale di Greenwich. La preoccupazione dei tedeschi veniva dalla loro lunga storia di stati quasi autonomi che aveva lasciato il paese in balia di un miscuglio di sistemi di determinazione del tempo elettrici e meccanici. Fu proprio tale *disunità*, a spingere l'anziano generale e feldmaresciallo conte Helmuth Carl Bernhard von Moltke a prendere la parola, il 16 marzo 1891, davanti al parlamento imperiale tedesco. Le ferrovie avevano avuto un'importanza decisiva nel tanto celebrato trionfo di von Moltke contro la Francia. Per quasi mezzo secolo, aveva cercato di inculcare nei connazionali la consapevolezza del ruolo vitale svolto dai treni nel rapido schieramento delle truppe. Già nel 1843 aveva insistito che “ogni nuovo sviluppo

delle ferrovie rappresenta un vantaggio militare; e per la difesa nazionale è assai più proficuo investire qualche milione nel completamento della rete ferroviaria che nella costruzione di nuove fortezze”. Von Moltke portò a termine i piani, fondando la propria strategia militare sulla potenza delle nuove linee ferroviarie. Nella primavera 1867 doveva dichiarare che, con gli stati tedeschi del sud, era in grado di ammassare 360.000 uomini in tre settimane, e 430.000 in quattro.³

La strategia pagò. Non solo i tedeschi, ma anche i loro avversari francesi riconobbero, dopo la guerra franco-prussiana del 1870-1871, che l’abile uso da parte di von Moltke di treni sincronizzati con precisione avesse distrutto il Secondo Impero, cambiando radicalmente gli equilibri sullo scacchiere europeo. Nei vent’anni che seguirono il trionfo sulla Francia, lo stato maggiore di von Moltke (e poi di Schlieffen) promosse un massiccio allargamento dell’esercito, trasformandolo nella forza armata di un Reich unificato. Con una pazienza ai limiti dell’ossessione, i generali provavano e riprovavano quasi all’infinito le esercitazioni, arrivando a schierare tre milioni di soldati grazie all’impiego di cento mila carrozze ferroviarie. Nel 1889 l’esercito chiese al Reichstag di adottare l’ora standard per semplificare l’orario dei treni. Ma dai politici venne un netto rifiuto.⁴

Nel marzo del 1891 von Moltke era un eroe senza pari in Prussia. Quando entrava in un luogo pubblico, gli uomini si alzavano in silenzio, restando in piedi finché egli non si sedeva. La sua apparizione di fronte al parlamento, riunito in sessione plenaria per discutere di tempo e ferrovie, fu un grande evento.⁵ Con voce roca (morì circa un mese dopo), von Moltke pronunciò il suo discorso:

Che l’unità del tempo (*Einheitszeit*) sia indispensabile per far funzionare le ferrovie in modo soddisfacente è cosa universalmente riconosciuta e non è certo in discussione. Ma, *meine Herren*, in Germania abbiamo cinque unità di tempo diverse. Nella Germania del nord, compresa la Sassonia, ci regoliamo sull’ora di Berlino; in Bavaria, su quella di Monaco; in Wurtemberg, su quella di Stoccarda; in Baden, su quella di Carlsruhe, e nel Palatinato del Reno su quella di Ludwigshafen. In Germania abbiamo così cinque zone, con tutti i difetti e gli svantaggi che ne risultano. Questi sono i problemi che abbiamo nella terra dei nostri padri, oltre a quelli che temiamo di incontrare ai confini con la Francia e la Russia. Si tratta, se posso dirlo, di una rovina che abbiamo ereditato dalla vecchia frammentazione della Germania, ma di cui, ora che siamo diventati un impero, dobbiamo liberarci.

Dal pubblico qualcuno gridò: “sehr wahr” (verissimo!). Quella frammentazione del tempo, proseguiva von Moltke, se per i viaggiatori poteva rappresentare al più un inconveniente, per le attività ferroviarie e, soprattutto, per quelle militari costituiva “un’effettiva difficoltà di vitale importanza”. Che cosa sarebbe accaduto, chiedeva, nel caso di una mobilitazione delle truppe? Era necessario uno standard che facesse da punto di riferimento, ed esso doveva passare dal quindicesimo meridiano (circa cinquanta miglia a est della Porta di Brandeburgo); le ore locali in Germania sarebbero state diverse fra loro, ma avrebbero richiesto soltanto una compensazione di mezz’ora circa da un estremo all’altro dell’impero. “*Mein Herren*, l’unità del tempo per le sole ferrovie non elimina tutti gli svantaggi che ho brevemente menzionato; ciò sarà possibile solo quando l’unificazione riguarderà l’intera Germania o, per così dire, quando tutte le ore locali saranno spazzate via.” Era

l'impero a esigerlo.⁶

Von Moltke era disposto ad ammettere che l'opinione pubblica avrebbe potuto dissentire. Ma dopo "un'attenta considerazione", gli scienziati degli osservatori avrebbero messo le cose a posto e usato "la loro autorità contro questo spirito d'opposizione". "*Meine Herren*, la scienza ha esigenze molto superiori alle nostre. Non si accontenta dell'unificazione del tempo in Germania, o nell'Europa centrale, ma ha di mira un tempo mondiale basato sul meridiano di Greenwich, e con piena ragione dal suo punto di vista, nonché in virtù dei fini che si propone." Contadini e operai potevano stabilire l'ora di inizio del lavoro come meglio credevano. Se un industriale voleva che i lavoratori cominciassero all'alba, che aprisse pure i cancelli, in marzo, alle 6.29. Le fattorie potevano regolarsi col Sole; le scuole e i tribunali potevano finalmente rendere precisi i loro orari tradizionalmente poco accurati. Von Moltke desiderava una coordinazione nazionale degli orologi basata su Greenwich. Allo stato maggiore premeva che le ferrovie e le forze armate facessero riferimento a una singola ora coordinata, collegata all'emergente mappa elettrica del mondo. Buona parte dell'Europa era d'accordo.⁷

Non tutta però. L'azione più nota contro Greenwich è forse anche la più misteriosa. Giovedì 15 febbraio 1894, un giovane anarchico francese, Martial Bourdin, comprò un biglietto da Westminster Bridge a Greenwich. Stando al resoconto di uno dei due assistenti dell'osservatorio, mentre stavano chiacchierando in sala calcolo al piano di sotto, essi furono "all'improvviso spaventati da una forte esplosione, con una detonazione molto netta. [...] Dissi immediatamente a Mr Hollis, 'Questa è dinamite! Guardi l'ora'". Abituati a compiere le loro osservazioni vicino all'orologio, i due presero debitamente nota che la detonazione aveva avuto luogo alle 4.51. Quando un poliziotto arrivò sulla scena dell'esplosione, nel parco sottostante il laboratorio, trovò Bourdin in fin di vita. Aveva perso una mano ed era stato investito violentemente dall'urto e dai frammenti della bomba. Per anni le motivazioni di quel gesto rimasero oscure; gli anarchici sospettarono una messa in scena della polizia; altri videro nell'episodio l'ultimo di una lunga serie di attentati degli anarchici francesi, tra cui quello alla Camera dei Deputati (dicembre 1893) e quello in un caffè parigino avvenuto proprio tre giorni prima della morte di Bourdin. La versione degli eventi fornita da Joseph Conrad nel suo *L'Agente segreto* (1907) ha fatto scuola: un'oscura trama di plagiari, plagiati e carrieristi, da cui nessuno usciva immacolato. Nella ricostruzione conradiana, il connivente primo ministro di una potenza straniera premeva per un attacco che avrebbe terrorizzato i nemici di classe più di un omicidio: "Questa deve essere una dimostrazione contro il sapere - contro la scienza. [...] Ci deve essere, in questo attentato, tutta l'irritante irragionevolezza della bestemmia gratuita". Doveva colpire il misterioso cuore scientifico della prosperità materiale. "'Sicuro', proseguì con un risolino sprezzante. 'Se il meridiano fondamentale salta in aria, dovrà certo suscitare alte grida di esecrazione'".⁸

Non c'è dubbio che il meridiano fondamentale fosse un simbolo potente, sia pure fortemente contestato. Ma nella stessa Francia in cui Janssen e altri inorridivano di fronte all'usurpazione del potere mondiale da parte della Gran Bretagna, vi era chi appoggiava l'idea che il tempo fosse regolato dall'orologio maestro del grande Osservatorio Christopher Wren.

Charles Lallemand, membro del *Bureau des Longitudes* e alleato di Poincaré, si schierò a favore dell'adozione dell'ora di Greenwich. Ovviamente, un'ora universale (identica per tutto il mondo) sarebbe stata un assoluto disastro: l'uomo della strada in Giappone si sarebbe certamente rifiutato di vivere e lavorare in base all'ora di Greenwich.⁹ Lallemand sosteneva che la riforma del tempo sarebbe naufragata nel caos se i nordamericani, "con il loro ammirevole senso pratico da uomini d'affari, non avessero immaginato un ingegnoso compromesso, che univa, o quasi, tutti i vantaggi dell'ora universale con quelli dell'ora locale": i fusi orari.¹⁰

Per Lallemand, che scriveva nel 1897, era una vittoria senza precedenti nel campo delle riforme umane che fossero bastati solo dieci anni perché un sistema semplice e pratico di fusi orari conquistasse la quasi totalità del mondo civilizzato. L'intera Europa vi aderiva, a eccezione della Francia, della Spagna e del Portogallo. Unirsi alla riforma non sarebbe poi costato molto ai francesi: un ritardo di appena 9 minuti e 21 secondi avrebbe messo le cose a posto. Il sistema corrente non era soltanto stupidamente complicato, ma aveva la deplorable conseguenza che, dall'altra parte della Terra, vi fosse una zona equatoriale di 250 miglia tra le linee antimeridiane di Parigi e di Greenwich in cui la data era ambigua. Per chi stava (o navigava) in questo purgatorio orario, poteva essere il 31 dicembre 1899 o il 1° gennaio 1900, a seconda della mappa consultata.¹¹

Tale ambiguità era, però, intollerabile per Lallemand. Immediate e furienti arrivarono le obiezioni, in una campagna fatta di articoli e manifesti. Alcuni sostenevano che i fusi orari non fossero "neutrali", seguendo la linea assunta alla controversa Conferenza di Washington. Falso, dichiarò Lallemand: il nuovo sistema non solo seguiva lo standard del neutrale orologio di ventiquattrore, ma la "velocità vertiginosa" con cui era stato accettato nel Vecchio come nel Nuovo Mondo aveva mostrato proprio quanto esso fosse neutrale. Certo, concedeva, il meridiano fondamentale passava per Greenwich. Tuttavia, quel punto di riferimento era già familiare a nove decimi dei marinai di tutto il mondo. Si poteva davvero sostenere che passare da una longitudine zero a una di 9 minuti e 21 secondi avrebbe causato la perdita dell'originalità e del prestigio scientifico francesi? Tutto ciò non aveva senso, tuonò. Parigi aveva a lungo assunto la posizione "20 gradi a est", usando come meridiano fondamentale l'isola di Ferro. Persino la tanto vantata neutralità della Convenzione rivoluzionaria che aveva stabilito il metro non era esatta: quella che nella Francia della Rivoluzione aveva esordito come una misura neutrale (1 metro = 1/10.000.000 di un quarto della circonferenza del Globo) si era rapidamente allontanata da tale ideale man mano che le nazioni straniere facevano copie della barra situata a Parigi. Come poteva, dunque, la Francia considerare un'umiliazione la modifica del proprio meridiano fondamentale? Per alcuni ciò avrebbe reso obsolete tutte le mappe francesi. Non è vero, replicò Lallemand, poiché sarebbe bastato evidenziare le nuove linee longitudinali con un colore diverso. Né lui né i suoi connazionali avrebbero di fatto sacrificato il loro meridiano nazionale a favore di Greenwich. Si trattava soltanto di spostare gli orologi di 9 minuti e 21 secondi a beneficio dei telegrafi, della navigazione e del trasporto ferroviario. Tutti "gli uomini di progresso", concluse, avrebbero dovuto sostenere la riforma del tempo.¹²

LA DECIMALIZZAZIONE DEL TEMPO

Come suggeriva la “defezione” di Lallemand, le decisioni prese alla Conferenza di Washington del 1884 si riflettevano sul *Bureau des Longitudes* francese. In aggiunta alla fatale scelta di Greenwich, i delegati di Washington avevano anche “espresso la speranza” che la definizione del giorno astronomico e di quello nautico fossero unificate, in modo che entrambi cominciassero a mezzanotte. A lungo gli astronomi avevano fatto iniziare il loro giorno ufficiale a mezzogiorno, approfittando dell’assenza nelle ore diurne di qualunque fenomeno di interesse osservativo, per mettere le loro preziose notti al riparo dai cambiamenti di data. Il resto del mondo usava la quiete notturna per cambiare data a mezzanotte, lasciando così un’unica data alle ore di luce della giornata. Spinto dalle sollecitazioni che venivano dal *Canadian Institute* e dalla *Astronomical Society* di Toronto, nel 1894 il ministro della pubblica istruzione chiese un parere al *Bureau des Longitudes*.

Poincaré assunse l’incarico e cominciò, come al solito, a valutare gli inconvenienti. “È evidentemente scomodo [*incommode*] per un astronomo cambiare data sul suo diario nel bel mezzo di una notte di osservazioni.” Avrebbe potuto dimenticarsi di passare alla nuova data, con il rischio di enormi complicazioni nei resoconti. Ma questa “scomodità” esisteva anche per il marinaio che compiva le sue osservazioni del Sole durante la navigazione. Di fatto, il marinaio si trovava ad affrontare in ogni momento gli stessi problemi dell’astronomo, se non peggiori. Quest’ultimo poteva lavorare senza distrazioni, mentre il marinaio aveva un milione di preoccupazioni; inoltre, l’astronomo poteva sempre rivedere i dati osservativi, mentre il marinaio sarebbe finito nelle secche al più piccolo errore. Che gli astronomi scrivessero pure “notte dell’11-12” nei loro quaderni. Del resto, che cosa dire della discontinuità nella data del giorno in cui la riforma fu istituita? Meglio rimediare subito a questa “scomodità” che doverlo fare poi, fu la risposta di Poincaré.

Una seria obiezione, se c’era, era che una riforma del genere avrebbe necessariamente costretto ad accantonare le innumerevoli registrazioni di fenomeni astronomici, come quelle trascritte sugli almanacchi britannici e americani, sulla *Connaissance des Temps* francese o sul *Berliner Jahrbuch* tedesco. Se una qualsiasi di queste pubblicazioni avesse modificato le convenzioni sul tempo, la conversione dei dati dall’una all’altra avrebbe costituito un problema ben peggiore della confusione corrente. Solo un accordo internazionale poteva far sì che questo lodevole sforzo di unificare il tempo fosse coronato da successo. In mancanza di esso, secondo i membri del *Bureau*, la Francia doveva aspettare, benché tutti fossero d’accordo sul fatto che un orologio di ventiquattrore avrebbe rappresentato un notevole miglioramento.¹³ Tuttavia, anche il giorno di ventiquattrore venne presto messo ai voti, sulla scorta dello spiraglio aperto dalla Conferenza di Washington, che lasciava una “speranza” per la decimalizzazione del tempo. Nel febbraio 1897, il presidente del *Bureau des Longitudes* nominò una commissione, con Poincaré come segretario, per stabilire se la Francia dovesse abbandonare il vecchio giorno di ventiquattrore e il cerchio di 360 gradi a favore di un sistema davvero razionale. Il presidente non difettò di franchezza:

perché la Convenzione del 1793 non era riuscita a estendere il sistema decimale al tempo e alla circonferenza di un cerchio? Le obiezioni contro tale innovazione erano forse ancora valide?¹⁴

A rispondere fu uno dei membri della commissione, Bouquet de la Grye, ex studente dell'*École Polytechnique* e illustre ingegnere idrografico. L'obiettivo della Convenzione era stato quello di bandire qualunque cosa potesse ricordare i tradizionali sistemi di misurazione dell'*ancien régime* e di consacrare la vera unità francese, diffondendo misure comuni nell'intero paese. Con il metro, la Rivoluzione ebbe successo. Ma la riforma dei mesi e delle settimane era stata un disastro, come lo era stato il valente ma sfortunato tentativo da parte di Laplace di decimalizzare l'ora. De la Grye ricordò ai colleghi che solo pochi orologi decimali erano sopravvissuti e che nessuno fuori dalla Francia aveva mai mostrato il ben che minimo interesse per loro. Dalla *débâcle*, de la Grye traeva chiare indicazioni per il presente: "Il sistema metrico ha avuto successo perché era il più semplice e poneva fine a una reale incoerenza nelle misure locali; la decimalizzazione del tempo e della circonferenza fallì perché tutto il mondo impiegava le stesse misure e le proposte peccavano proprio per la loro mancanza di unità".¹⁵ Era la comodità a dettare le regole. Finché le riforme semplificavano la vita, l'opinione pubblica le seguiva; quando non erano d'aiuto alla gente comune, scivolavano lentamente nell'oblio.

Poincaré prese debitamente nota del dibattito che seguì. Il presidente Loewy asserì che se il tempo metrico della Rivoluzione era stato un fallimento, il motivo era che gli astronomi francesi non erano riusciti a trovare alleati in altri stati europei. Il generale de la Noë osservò che il servizio geografico aveva effettivamente adottato un sistema decimale per la misurazione degli angoli, come avevano fatto i servizi geodetici in Belgio. Cornu attribuì una delle differenze tra la fine del XVIII secolo e quella del XIX alla perdita dell'abitudine per il sistema duodecimale. L'aspetto più curioso era che gli ingegneri britannici erano talmente avvezzi a usare le loro misure primitive ("pollici" e "piedi") che semplicemente si rifiutavano di comprendere i vantaggi del sistema decimale. Meno disperato dei suoi colleghi d'oltre Manica, il direttore generale della ferrovia Parigi-Lione-Mediterraneo mostrò una certa solidarietà per le genti di lingua inglese; riferì che molti degli ingegneri britannici si trovavano a disagio con il loro sistema e sarebbero stati ben lieti di rinunciare alle loro arcaiche convenzioni. Sotto l'effetto della storica crociata francese per il dieci rivoluzionario, entusiasta del ruolo che essa ebbe nella razionalizzazione del mondo, la commissione votò a favore della decimalizzazione del tempo.

Ma quel voto lasciò molte questioni aperte. Il rappresentante delle ferrovie assicurò i colleghi scienziati che qualsiasi tentativo di modificare il giorno di ventiquattrore sarebbe stato destinato al fallimento. De la Grye si pronunciò a favore di una unificazione di tempo e geometria mediante la divisione del cerchio in 240 parti. Loewy ammise di aver coltivato il sogno di un mondo interamente decimale, ma il fardello delle vecchie mappe e misure lo aveva condotto all'amara conclusione che gli ostacoli a questo coraggioso nuovo mondo non fossero difficoltà facilmente sormontabili. Sottoscrisse perciò il compromesso di de la Grye; un cerchio diviso in 240 parti avrebbe posto il Globo in sincronia con gli orologi, dal momento che a ogni ora della rotazione terrestre sarebbe corrisposto un elegante movimento del mondo di

10 gradi. Poincaré si schierò con Loewy, aggiungendo:

Se fossimo in presenza di una tabula rasa, il miglior sistema sarebbe quello che divide il cerchio in 400 parti [100 *grads* per quarto di cerchio, o 100 chilometri per *grad*] ... Ma non possiamo rompere completamente con il passato, non solo perché dobbiamo tenere conto dell'atteggiamento contrario dell'opinione pubblica, ma anche perché gli stessi scienziati hanno una tradizione cui rimangono legati.¹⁶

Teniamoci il giorno di ventiquattrore, diceva Poincaré, e dividiamo il cerchio in 240 parti. Il capitano Guyou respinse il compromesso, insistendo sulla divisione in 400 parti. Le esigenze della navigazione e la previsione delle maree costringevano i marinai a una serie interminabile di calcoli noiosi e difficili. Perché non fornire un sistema decimale facile da usare per scienziati e navigatori, lasciando che il pubblico continuasse a contare il tempo secondo le sue vecchie consuetudini? I ferrovieri, aggiungeva Guyou, erano già abituati a un sistema orario che presentava uno scarto di cinque minuti dall'ora delle città ed erano lo stesso a loro agio con l'orologio di ventiquattrore. Perché non adottare due sistemi temporali? Una simile amalgama sarebbe stata intollerabile, rispose Poincaré. L'ora civile era chiaramente legata alla longitudine. Qualunque sistema misto richiedeva un fattore di conversione che fosse davvero comodo per tutti gli utenti.¹⁷

Comodità, convenzione, continuità con il passato: sono espressioni che riemergono di continuo nell'astratta filosofia di Poincaré. Ma esse erano scritte a chiare lettere negli affari tutt'altro che eteri degli ingegneri del mondo reale, dei capitani che con le loro navi solcavano il mare, degli imperiosi magnati delle ferrovie, e degli astronomi dediti a intensi calcoli. Monsieur Noblemaire, direttore della ferrovia Parigi-Lione-Mediterraneo, per dare maggiore vigore al proprio intervento, presentò la seguente argomentazione: supponiamo che voi lasciate la vostra stazione alle 8.45 a.m. e arrivate alle 3.24 p.m. Quanto dura il vostro viaggio? Bisogna pensarci su. Tuttavia, se formuliamo il problema in termini decimali, la confusione causata da "a.m." e "p.m." svanisce. Non c'è che da compiere la sottrazione:

Partenza: 15.40h

Arrivo: 8.75h

Durata: 6.65h

Ecco il tipo di comodità che contava davvero per una società in movimento.¹⁸ Gli uomini della marina, come il comandante della scuola navale, non vedevano che benefici nella transizione al tempo e alla longitudine decimali. Sarebbe stato più facile modificare le mappe, e i fisici non avrebbero avuto alcun problema. Dopo tutto, secondo il buon capitano, essi si erano adattati abbastanza facilmente a centimetri, grammi e secondi.¹⁹

Facile decimalizzare il tempo? Sarebbe stata davvero una novità per i fisici. Quando il presidente della Società di Fisica francese, Henri Becquerel, mise le mani sulla proposta ai primi di aprile del 1897, non si divertì affatto. Anche senza contare le spese che si sarebbero dovute sostenere per cambiare tutti gli orologi (fissi e portatili), i cronometri marini e i pendoli, i fisici prevedevano terribili conseguenze

per l'industria elettrica e per tutte quelle derivate. Il sistema centimetro-grammo-secondo (CGS) era stato adottato a livello internazionale soltanto nel 1881, e solo nell'aprile 1896 il presidente della Repubblica aveva decretato che il razionale sistema CGS dovesse essere utilizzato in tutte le faccende di stato. Ed era superfluo dire che una delle pietre miliari di quel nuovo sistema razionale, il secondo sessagesimale ($1/3600$ di un'ora), rappresentava ora un ostacolo per il revival decimale. La proposta di un secondo decimale ($1/10.000$ di un'ora) costringeva a modificare completamente non solo le unità meccaniche ed elettriche di energia, lavoro, e simili, ma anche tutte le unità pratiche (ampere, volt, ohm e watt) che erano definite in termini di queste ultime. "Che sconvolgimento per la pratica scientifica e per l'intera industria meccanica ed elettrica!" Sarebbe stato necessario cambiare tutti gli strumenti. "Che spesa enorme senza alcun profitto, né per la scienza, né per l'industria!" Se si pesavano vantaggi e svantaggi, la bilancia dei fisici pendeva decisamente verso lo status quo: teniamoci il vecchio secondo. A loro dire, il caso era chiuso prima ancora di essere aperto.²⁰

I piagnistei dei fisici non commossero Poincaré. O piuttosto, di fronte alle feroci proteste di pubblico, navigatori e scienziati, egli si rifiutò di entrare nella mischia, proponendo invece di risolvere il problema con gli artifici tecnici tipici di un riformatore dell'*École Polytechnique*. Il 7 aprile 1897, portò dinnanzi alla commissione una tabella, da lui stesso preparata, in cui erano illustrati tutti i sistemi proposti, il tipo di moltiplicazioni richieste (trascurando i fattori di dieci) per esprimere gli angoli, per convertire il tempo in angoli al fine di esprimere la longitudine (numero di gradi per ora di rotazione terrestre), nonché per convertire gli angoli dal vecchio sistema di 360 gradi in quello decimale proposto. Per esempio, se si vuole esprimere un angolo di un cerchio e mezzo (una rotazione e mezza) nel sistema a 100 suddivisioni, non è necessario alcun fattore di conversione: una volta trascurati i fattori di dieci, si hanno 150 unità. In tal caso, non occorre fare a mente alcuna operazione, giacché basta moltiplicare per 1. Nel sistema a 400 suddivisioni, un cerchio e mezzo sarebbe costituito da 600 unità; per andare da 1,5 al 6 del 600 (l'ulteriore moltiplicazione per 100 non richiedeva alcun sforzo intellettuale), si deve moltiplicare per 4. La seconda colonna dice come passare dalle parti del cerchio al tempo: se l'intero cerchio è costituito da 100 unità, si deve moltiplicare per 24 per ottenere le ore - 100 unità di rotazione equivalgono a un giorno completo di 24 ore. Se il cerchio è fatto di 400 unità, si deve moltiplicare per 6 per ottenere le ore. Infine, per ritornare al vecchio cerchio di 360 gradi, si deve (per il cerchio di 400 unità) semplicemente moltiplicare per 9, là dove un cerchio di 100 unità richiede di moltiplicare per 36.

Da buon tecnocrate, Poincaré aveva esaminato la tabella per trovare i fattori di conversione più semplici. Il sistema a 400 unità era il solo a non richiedere alcuna moltiplicazione a due cifre. Ecco, dunque, quello che ci voleva. Poincaré aveva, oggettivamente, ottenuto la soluzione meno "scomoda" - una soluzione che era disposto a difendere dalle urla di protesta che si sarebbero levate contro il progetto di abbandonare il modo abituale di misurare gli angoli in tutto il mondo.²¹

Dividi il cerchio in questo numero di parti	Fattore per angoli più grandi del cerchio	Fattore per convertire gli archi in tempi	Fattore per convertire a 360 gradi
100	1	24	36
200	2	12	18
400	4	6	9
240	24	1	15
360		15	1

Tabella usata da Poincaré per difendere la divisione del cerchio in 400 parti. *Fonte:* Henri Poincaré, “Rapport sur les résolutions de la commission chargée de l’étude des projets de decimalisation du temps et de la circonférence” [7 aprile 1897], Archivi dell’Osservatorio di Parigi.

Si trattava di un armistizio ingegneristico in una guerra che metteva tutti contro tutti sul terreno sociale, economico e culturale. Quando le acque si calmarono, le fazioni ostili si adattarono a un ulteriore compromesso, decidendo di mantenere l’orologio di ventiquattrore e di dividere l’ora in 100 minuti, suddividendo poi ciascun minuto in 100 secondi.²² Queste mezze misure lasciarono freddo Guyou. I capitani di marina erano abituati a leggere tabelle complicate, notò asciutto; gli importava poco che la tabella consultata avesse formule di conversione semplici o complicate. Alla fine, la commissione si spaccò in tante opinioni quanti erano i membri. Un partito premeva per una divisione del cerchio in 400 parti, un altro voleva 240 parti, e un terzo (fisici, capitani di marina e telegrafisti) preferiva la tradizionale divisione in 360 parti, con ulteriori suddivisioni decimali. L’astronomo Faye aggirò le varie proposte, chiedendo una netta suddivisione del cerchio in 100 parti.

Durante lo scontro, Poincaré e i suoi alleati cercarono di restare *super partes*, giudicando i sistemi in competizione con equanimità. Da segretario e parte in causa insieme, Poincaré verbalizzò diligentemente la sua stessa opinione, che era coerente con le sue idee sull’unificazione di tempo civile e astronomico: tutti questi “sistemi sono accettabili e si deve scegliere quello che ha maggiori probabilità di successo di fronte a un convegno internazionale”. Con il presidente dalla loro, le forze di Poincaré ebbero là meglio in un voto per alzata di mano: l’unità dell’angolo sarebbe stata il “*grad*”, ossia 1/400 della circonferenza. Benché ribadita in un incontro successivo, la decisione non mise fine al dibattito. Persino alcuni membri della commissione dissentivano: l’ingegnere capo del servizio idrografico francese protestò, presentando un rapporto in cui evidenziava i tremendi costi che avrebbe avuto ristampare i 3000 grafici (per non parlare delle istruzioni, delle tabelle e degli annuari) che erano distribuiti dal suo servizio. L’intera strumentazione dei navigatori, inoltre, sarebbe diventata obsoleta nel volgere di una notte. I marinai avrebbero potuto gettare in mare i loro cronometri, pendoli, orologi, teodoliti e sestanti. Un altro commissario sostenne che si stava cercando di mediare tra interessi in contraddizione tra loro, sicché alla fine si sarebbero scontentati tutti con un compromesso raffazzonato. Cornu sostenne che vi era un solo e unico sistema razionale: la riforma proposta non era né una marcia avventurosa e razionale alla conquista del futuro, né una sicura ritirata nello status quo. Per Loewy, i decimalizzatori radicali erano fuori strada: il nuovo sistema eliminava molte irrazionalità e complicazioni che, nate da un bricolage storico, non

avevano alcun senso. La cosa migliore da fare al momento era prendere una decisione. Loewy e Poincaré ottennero i voti che servivano loro per sostenere il compromesso liberale di una riforma parziale: 12 a favore e 3 contro.²³

Il voto non mise la sordina al dibattito sulla misurazione del tempo, che riprese, alla fine del 1897, sulle pagine della rivista di Cornu e Poincaré, *L'Eclairage Electrique*. Chiaramente a disagio per il compromesso raggiunto dalla commissione, Cornu riferiva che “una maggioranza instabile e divisa” aveva formulato una soluzione che difficilmente sarebbe andata incontro a un’approvazione universale. Ancora prima che il comitato terminasse i propri lavori, diceva, la marina francese e il servizio geografico dell’esercito avevano sollevato obiezioni, poiché la prima avrebbe ottenuto solo poche semplificazioni nei calcoli usuali, mentre il secondo avrebbe fatto effettivamente un passo indietro. Secondo Cornu, la decimalizzazione del tempo era più ardua di quella dello spazio. La riforma della lunghezza soddisfaceva una triplice condizione: portava chiari benefici alla maggioranza delle persone, non presentava enormi scomodità per quelli che non ne erano direttamente interessati, e andava incontro all’entusiasmo dell’opinione pubblica per l’adozione di un’unità di misura. Chiunque era ben lieto di sottrarsi alla confusione nei commerci che regnava ai confini di nazioni, province e comuni. Di contro, Cornu non si aspettava grandi celebrazioni per la difettosa riforma del tempo.²⁴ Egli insisteva che era il giorno, l’unità *naturale* di tempo, che doveva essere decimalizzato - non l’ora, che era del tutto artificiale. Se il giorno era la base, allora un centesimo del giorno sarebbe stato circa un quarto d’ora, e un centomillesimo del giorno sarebbe stato equivalente a 0,86 secondi vecchio stile. Si sarebbe trattato di un’unità di tempo gratificante perché strettamente corrispondente al tipico battito cardiaco degli adulti, la nostra piccola unità di tempo “naturale”.

Ma “gli interessi mettono la logica sotto scacco”, osservava con tono severo, e non vi erano interessi a sostegno dell’unica riforma logica che avrebbe rimesso ordine nella misura del tempo. *Non* si poteva certo dire che il caos regnasse nel mondo del tempo come invece aveva regnato nelle misurazioni spaziali prima della riforma del metro. Il tempo era già unificato nei vari paesi, in un modo in cui *non* lo era stata la lunghezza prima del metro. In un’atmosfera così poco ricettiva, osservava Cornu, la commissione stava producendo un compromesso disperatamente confuso che finiva a santificare per il giorno l’artificialissimo numero di ventiquattro ore, mentre decimalizzava l’inutile ora. Le frazioni decimali di un’ora erano innaturali, insisteva Cornu: la centesima, millesima e centomillesima parte di un’ora erano 36,3,6 e 0,36 secondi rispettivamente. Ciò non andava affatto bene; un orologio astronomico non poteva battere a intervalli corrispondenti a queste unità di tempo: 3,6 secondi era un intervallo troppo lungo per un pendolo, 0,36 troppo corto. Dopo aver passato anni a costruire e a revisionare i propri orologi astronomici, che erano dotati di un enorme pendolo, Cornu andò alla carica: l’intero organismo umano assegnava un ruolo speciale al secondo. Non solo il nostro polso batte più o meno una volta al secondo, ma la nostra capacità di reazione, a un’immagine o a un suono, richiede all’incirca un decimo di secondo, il che accresceva il valore di un’unità di tempo che approssimativamente corrispondeva al battito cardiaco. Secondo Cornu, sia la struttura degli orologi sia il Sole militavano contro la decimalizzazione dell’ora. Egli

doveva, inoltre, esprimere il proprio scontento per gli altri compromessi della commissione. Se andava conservata l'ora (cosa alla quale era contrario), allora la divisione logica del Globo doveva essere in 240 parti, di modo che ogni rotazione oraria trasportasse la Terra per una divisione pari di dieci parti. Tuttavia, anche in questo caso la commissione aveva giocato male le sue carte, suddividendo la circonferenza del mondo in 400 parti. Poiché 400 parti divise per le ventiquattrore non davano un numero pari, neppure i geografi avrebbero guadagnato molto nel calcolare la longitudine. A detta di Cornu, la riforma non era riuscita a decimalizzare l'unico intervallo naturale di tempo, rifiutando di riconoscere il giorno come unità temporale base della nostra vita: "gli uomini di scienza dovrebbero [...] preparare il futuro non con compromessi, ma con l'adozione progressiva del [giorno e del cerchio decimalizzati] nel dominio in cui sono maestri di convenzione".²⁵

Attaccato pubblicamente dall'amico e mentore sulla soluzione di compromesso che aveva escogitato, anche Poincaré fu costretto a intervenire sulla stampa, se non altro perché la legittimità della sua commissione era stata messa in discussione. Come Cornu, riconosceva l'esistenza di interessi in conflitto. Ma diversamente da lui, vedeva in questo disaccordo la necessità di una soluzione rapida e decisa. Al solito, puntava alla via di mezzo dell'ingegnere, evitando sia la rivoluzione sia la reazione. Essenziale, ai suoi occhi, era liberarsi di mostruosità come 8h 25m 40s o 25°17'14". Per quel che lo riguardava, l'importante era adottare un *qualsiasi* sistema decimale.

Come Poincaré sapeva bene, i fisici (ossia, i fisici elettrici) avevano invaso il campo. Egli cercava ora, gentilmente, di metterli all'uscio. Essi avevano enfatizzato la scomodità del sistema decimale. Se solo avessero letto il rapporto, sarebbero passati dalla sua parte (o almeno così pensava). Perciò cominciò a citarlo. Dopo tanti anni di dure battaglie per stabilire un sistema accettabile di unità elettriche, era comprensibile che i fisici non fossero disposti ad abbandonarlo facilmente. Ma siate ragionevoli, li esortava. Per tutti gli scopi pratici, in ogni misurazione si deve semplicemente confrontare una cosa con un'altra: una durata con un'altra durata, una resistenza con un'altra resistenza. In qualunque operazione industriale non vi è alcun bisogno di risalire alla definizione sottostante di un'unità. Il negoziante misura la stoffa con un metro, senza avere alcun bisogno di ricordarsi che il metro è la quarantamilionesima parte del meridiano terrestre. Solo le cosiddette unità assolute sarebbero state danneggiate dalla riforma. (Un'unità assoluta di corrente elettrica, per esempio, era definita non in relazione a materiali particolari, bensì identificando un ampere con la quantità di corrente che passando attraverso due barre parallele e infinitamente sottili, a un metro di distanza l'una dall'altra, fa sì che esse si respingano reciprocamente con una certa forza.) In effetti, diceva Poincaré, lasciate che gli inglesi si preoccupino della teologia naturale degli assoluti; ciò che contava era la comodità, non le sanzioni divine.

Di fatto, egli sosteneva che l'oggetto delle lamentele dei fisici fosse irrilevante. Certo, i vecchi orologi sessagesimali con i loro sessanta secondi e sessanta minuti uscivano con le ossa rotte dal confronto con i nuovi orologi degli osservatori che avrebbero segnato le "centiores" (centesimi di ora, equivalenti a trentasei secondi). E con ciò? I cronometri devono solo indicare intervalli di tempo, anzi intervalli molto piccoli. Non c'è alcun bisogno di regolarli a una specifica ora del giorno. Ma

portiamo l'esperimento mentale al limite. Immaginiamo, continuava Poincaré, che gli astronomi adottino il sistema decimale, seguiti da una diffusione così spettacolare tra l'agente comune che non sia più possibile trovare da qualche parte un orologio basato sui secondi. A quale disagio andrebbero incontro quei rari fisici che volessero determinare il valore assoluto della resistenza elettrica (ohm)? Dovrebbero moltiplicare per 36. "E perché loro evitino questa semplice operazione, noi dovremmo quotidianamente imporre noiosi calcoli a migliaia di marinai, oltre che a milioni di scolaretti ed ex scolaretti?" Che cosa facciamo più spesso - determinare il valore assoluto della corrente elettrica, fissare la nostra posizione sul mare oppure sommare due angoli, o due intervalli di tempo? Riassumendo, Poincaré accusava i fisici di ostacolare un progresso che avrebbe favorito gli astronomi e la gente comune solo perché loro (i fisici appunto) non ne avrebbero tratto alcun beneficio. Quanto a lui, un piccolo progresso era meglio di niente. Se si fossero dovute usare unità diverse sui trattati astronomici e sui testi di elettrotecnica, sarebbe stato un piccolo prezzo da pagare per liberare il mondo dall'assurdità di usare tre diverse unità in un solo numero come 8h 14m 25s.²⁶

Nonostante il prodigioso impegno profuso, la commissione di Poincaré si impantanò. Vista l'aperta ostilità degli stranieri nei confronti della riforma, il Ministero degli affari esteri informò il *Bureau des Longitudes* nel luglio 1900 che lo Stato non era disposto a dare il suo sostegno. Dopo cent'anni, lo sforzo rivoluzionario di razionalizzare il tempo si era esaurito.²⁷

Ma la sconfitta patita nella decimalizzazione non impedì a molti dei partecipanti alla commissione di Poincaré di continuare a discutere appassionatamente intorno a fusi orari e distribuzione del tempo. Sarrauton, per esempio (che di fronte alle polemiche non si tirava mai indietro), attaccò il sistema dei fusi orari. Prese una delle sue sarcastiche recensioni (sulla proposta dei fusi orari) e il 25 aprile 1899 la inviò personalmente a Loewy presso il *Bureau des Longitudes*. Cominciava, come molte altre prediche sul tempo, con un omaggio alle ferrovie e ai telegrafi: "La superficie del Globo è attraversata da treni che corrono sulle rotaie e da veloci navi piene di viaggiatori e mercanzia, mentre sulle linee telegrafiche aeree e sottomarine le informazioni viaggiano con la velocità della luce. [...] La superficie del Pianeta è stata, per così dire, contratta". I fusi orari, insieme con gli orologi sincronizzati, erano la risposta, ma certo non *questi* fusi orari *inglesi*.

Sarrauton chiedeva che i fusi, le ben coordinate suddivisioni a forma di cuneo della Terra, fossero strappati dagli artigli dell'impero britannico. A suscitare la sua collera era stata la proposta di legge "Boudenoot" che avrebbe ritardato l'ora di Parigi di 9 minuti e 21 secondi: "Questa è esattamente l'ora di Greenwich; il meridiano inglese ben presto 'condurrà la Francia a rimorchio dell'Inghilterra' e provocherà il collasso del sistema metrico". Fortunatamente, per Sarrauton, vi era un'alternativa - la legge di Gouzy e Delaune - che avrebbe messo le cose a posto riguardo ai fusi orari, alla decimalizzazione e al meridiano fondamentale perduto: essa avrebbe suddiviso l'ora in 100 minuti, i minuti in 100 secondi, organizzato il tempo civile in ventiquattro fusi orari e cominciato a contare la longitudine dallo Stretto di Bering, a partire dal 1° gennaio 1900. "È il compimento del sistema decimale, è la Francia che realizza una delle più importanti riforme dei tempi moderni e, nelle questioni scientifiche, afferma

la propria preponderante influenza sul resto del mondo. Siamo giunti a un bivio e questi due progetti di legge segnano le vie che ci si aprono innanzi. Tocca a noi scegliere.”²⁸ Quali che fossero i vantaggi per la razionale Francia, la proposta di Gouzy e Delaune non fu mai approvata. La Francia adottò il meridiano di Greenwich il 9 marzo 1911.

Negli accesi dibattiti sui fusi orari, sulla decimalizzazione e sul meridiano fondamentale, le convenzioni sul tempo attraversarono scenari che di solito consideriamo piuttosto lontani l’uno dall’altro. Leggi, mappe, scienza, industria, vita quotidiana, oltre all’eredità della Rivoluzione, entrarono in collisione tra loro, attirando nell’arena illustri rappresentanti dell’establishment tecnico, intellettuale e scientifico francese. Al *Bureau des Longitudes* la speranza filosofica riposta da Poincaré nelle “convenzioni” e nella “comodità” si trovava a dover fare i conti con la realtà quotidiana dei navigatori, dei fisici, degli astronomi e dei ferrovieri. Poco prima che egli pubblicasse “La misura del tempo” (1898), il tempo fisico, quello convenzionale e quello coordinato, erano confluiti in un turbinoso dibattito riformista, che era insieme altamente astratto e profondamente concreto.

TEMPO E MAPPE

Come abbiamo visto, nel 1897 la decimalizzazione del tempo costituiva uno degli impegni del *Bureau des Longitudes*. Ancor più urgente, però, risultava l’orchestrazione di uno dei più difficili progetti di cartografia affrontati nella sua illustre storia. Già nel 1885, il Ministero della marina aveva assegnato al *Bureau* il compito di determinare le esatte posizioni di Dakar e Saint-Louis nella “nostra colonia” del Senegal.²⁹ Dopo anni di gestazione, il rapporto sul Senegal apparve tra le pubblicazioni dell’Ufficio proprio nel 1897 - giungendo così nelle mani di Poincaré poco prima che egli si accingesse a scrivere “La misura del tempo” e assumesse la presidenza del *Bureau*.

Fare una mappa della “nostra colonia” non era per niente facile. Nel 1865 il governatore Louis Faidherbe aveva annesso con la forza le regioni senegalesi di Wolof e di Cayor, consentendo ai colonizzatori, almeno a tratti, di spianare la strada da Saint-Louis alla penisola di Capo Verde. Nel 1885 era in costruzione un collegamento ferroviario, voluto dal governo coloniale, tra Saint-Louis e Dakar.

Ma le strade ferrate non fermarono la feroce resistenza anticoloniale. Le truppe francesi, che ancora combattevano nell’est e nel sud del paese, non riuscirono mai a sopprimere del tutto la rivolta. Alla vigilia della Prima Guerra Mondiale, le insurrezioni continuavano a scoppiare. Nel clima surriscaldato di queste battaglie coloniali, gli uomini dell’Ufficio dovevano stabilire la posizione delle due città principali del Senegal, in parte anche per estendere la mappa fino all’interno della colonia, lavorando a fianco dei militari impegnati nell’opera di conquista. Ma il progetto coloniale francese aveva ambizioni ancora più grandiose. Fornendo coordinate esatte a Dakar, le autorità francesi intendevano estendere il loro sistema di cavi da quel porto per tutta la costa occidentale dell’Africa, fino al Capo di Buona

Speranza. Longitudine, strade ferrate, telegrafia e sincronizzazione del tempo si sostenevano a vicenda. Ciascuna rappresentava un volto differente della nuova rete globale.

Quando la spedizione per Dakar e Saint-Louis partì da Bordeaux, l'Ufficio aveva già esteso il suo raggio d'azione telegrafico fino all'Osservatorio San Fernando di Cadiz (circa cinquanta miglia a nord-ovest di Gibilterra). Da qui, i francesi si affidavano al collegamento della British Cable che congiungeva gli osservatori di Cadiz e di Tenerife (l'Osservatorio di Tenerife era stato recentemente collegato via cavo al Senegal). Ogni sera, per un'ora, gli astronomi controllavano il cavo. Per la Francia, così come per tutta l'Europa continentale, affittare il cavo dagli inglesi era ormai nell'ordine delle cose. Controllando la stragrande maggioranza dei cavi sottomarini mondiali, i britannici trasmettevano i messaggi tra la Francia e le sue colonie ovunque eccetto che in Nord Africa. Solo per l'Africa Occidentale, e per le tratte Tenerife-Senegal, Saigon-Haiphong e Obock-Perim, i cavi costavano ai francesi quasi due milioni e mezzo di franchi l'anno, che venivano pagati, cosa alquanto fastidiosa, proprio al rivale impero britannico. L'irritazione dell'establishment francese per tale dipendenza covava sotto le ceneri; durante gli anni Ottanta e Novanta dell'Ottocento, gli ambienti militari, commerciali e giornalistici erano infuriati per il dominio britannico sulle comunicazioni. Ma la Camera dei Deputati bloccava, una dopo l'altra, tutte le proposte di istituire linee francesi: le sole eccezioni furono il collegamento del 1886 da Reunion al Madagascar, a Gibuti e infine a Tunisi; quello del 1887 dalle Indie Occidentali francesi a New York, e quello da Brest a Haiti nel 1892-1893.³⁰

Oltre a contare sull'industria del cablaggio britannica, le autorità francesi avevano bisogno anche di quella spagnola. Cecilion Pujazón, astronomo al San Fernando, offrì il suo Osservatorio come punto di collegamento tra il segnale lanciato da Parigi e il Senegal, attraverso Tenerife. Imbarcatosi sulla nave a vapore *Orenoque* della Compagnia transatlantica, gli astronomi arrivarono a Dakar, del tutto impresentabili, il 15 marzo 1895. Il governatore Seignac-Lesseps mise immediatamente le truppe a loro disposizione. Il capitano d'artiglieria che comandava la guarnigione di Dakar procurò loro manovali e muratori indigeni, ospitando gli scienziati nelle mense militari - dal momento che non vi erano (secondo il querulo astronomo capo) alberghi decenti da nessuna parte. L'astronomo capo notò, con orrore, che i viaggiatori avrebbero dormito sulla paglia proprio come i nativi.

Gli aiuti militari alle truppe cartografiche non si limitarono a vitto e alloggio. Gli astronomi del *Bureau* presero posto nel fortino il cui profilo si stagliava minaccioso su Capo Verde per proteggere la riserva di carbone e l'ancoraggio. Spessi muri di calcestruzzo, deputati alla difesa degli artiglieri, consentirono loro di installare il loro pendolo nella stanza più protetta del bunker. Ciò permetteva di mantenere sotto controllo la temperatura dell'importantissimo orologio, una necessità assoluta nel caldo infernale di Dakar. Collocato il telescopio fuori dal fortino, gli astronomi montarono il collimatore sul parapetto della batteria di cannoni. Cinque giorni dopo, il 20 marzo, l'équipe partì per Saint-Louis. Accolta dall'aiutante di campo del governatore nel "centro politico della colonia", si sistemò nella stazione di Saint-Louis.³¹



Figura 4.1 Simultaneità via cavo: Parigi, Cadiz, Tenerife e Dakar. Nell'ultima parte del XIX secolo vi fu una proliferazione di cavi sottomarini, e i rilevatori della longitudine colsero l'occasione di usare ciascun nuovo collegamento per trasmettere l'ora esatta attraverso gli oceani. Il *Bureau des Longitudes* faceva uso di cavi sottomarini britannici e spagnoli per ottenere il segnale orario dall'Osservatorio di Cadiz (Spagna) che, attraverso Tenerife, arrivava fino a Dakar. *Fonte:* Vivien de Saint-Martin, *Atlas Universel* (1877).

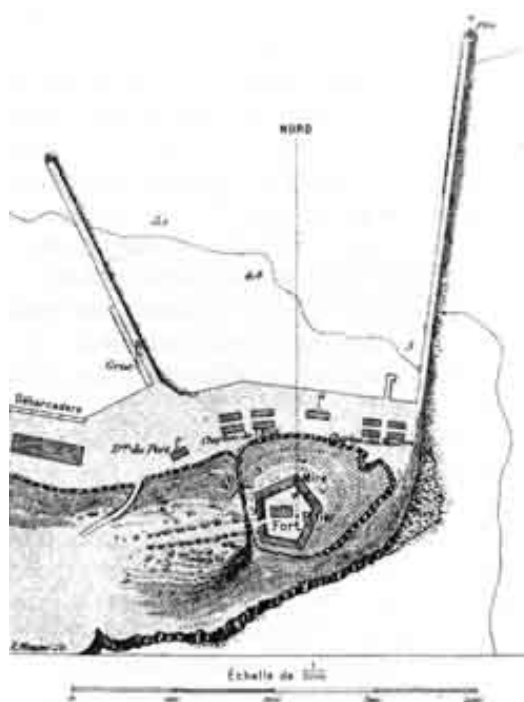


Figura 4.2 La misurazione di Dakar. Per francesi, britannici e americani la sovrapposizione di strutture militari e attività geografiche era notevole. A Dakar, le spedizioni francesi per determinare la longitudine sfruttarono ogni caratteristica del fortino, che difendeva le vitali riserve di carbone, per realizzare la fondamentale misurazione della longitudine della colonia. *Fonte:* *Annales du Bureau des Longitudes*, vol. 5 (1897).

Un editto governatoriale impedì a chiunque di entrare o lasciare gli edifici operativi durante le osservazioni (i passi disturbavano il pendolo). I pochi nativi cui era consentito passare nelle vicinanze, doveva farlo senza carri, a piedi nudi, su un terreno sabbioso. Le osservazioni durarono dal 26 marzo all'11 aprile 1895; l'équipe lanciò i primi segnali a Dakar il 29 aprile e a San Fernando il 2 maggio.

Non tutto andò per il meglio. Il fiume scorreva da nord a sud, rendendo l'avvistamento del meridiano di Saint-Louis estremamente difficile. Un conto era stare sulla riva per evitare ostacoli, un altro era doversi piantare nel mezzo del fiume dritto a nord verso la stella polare. I "predoni" cominciarono a rubare qualunque oggetto di metallo venisse lasciato fuori, compreso, quasi ogni giorno, il chiodo utilizzato per collimare l'altezza delle stelle.

I 260 chilometri di cavo che collegano Dakar a Saint-Louis furono installati nelle pianure ricoperte dalla boscaglia di Cayor, con strumenti primitivi e nel mezzo di una popolazione ostile, se non in guerra aperta nei nostri confronti. Il cavo si interrompeva e i pali venivano abbattuti per poi essere ristabiliti più o meno bene così spesso che non era possibile trovare le normali condizioni [fisiche] di una linea ordinaria. Lasciatemi aggiungere che, al tramonto, l'umidità era tanta che i pali gocciolavano, e là dove [in Francia] sarebbero stati sufficienti 5 isolatori, neppure 70 riuscivano a far sì che si ottenesse la ben che minima traccia di un'onda elettrica.³²

Quand'anche il segnale riuscì ad attraversare il Senegal lungo le rotaie ferroviarie, il collegamento da Santa Cruz (Tenerife) a San Fernando creò notevoli problemi poiché, durante le notti cruciali delle osservazioni, le linee terrestri spagnole erano intasate da trasmissioni ufficiali che seguivano l'elezione dei deputati. Vennero poi le correzioni. Vi furono quelle solite legate alle variazioni di temperatura; quelle dovute alle "equazioni personali", il caratteristico ritardo psico-fisiologico di ciascun osservatore nel segnalare l'attraversamento del meridiano da parte di una stella; nonché quelle relative al comportamento del delicato specchio che registrava l'arrivo del segnale. Alla fine, raddoppiato il peso di un insieme di osservazioni ed eseguite le opportune compensazioni per vari altri errori umani e strumentali, l'équipe stabilì una differenza di longitudine tra San Fernando e Saint-Louis di 41 minuti e 12,207 secondi.³³ Per non perdere l'opportunità di una delle rare navi a vapore che lasciavano Dakar alla volta di Tenerife, gli astronomi ordinarono ad alcuni nostalgici marinai di imballare velocemente gli strumenti per il viaggio di ritorno a Parigi. Il loro rapporto all'Ufficio fu stampato nel 1897.

All'epoca le relazioni tra francesi e britannici stavano deteriorandosi, e i cavi telegrafici erano al centro di molte dispute. Le compagnie telegrafiche britanniche si rifiutavano di impiegare stranieri ed erano in grado di leggere i messaggi tra Parigi e Dakar o Saigon, ancora prima che arrivassero in mano alle autorità francesi. Alla Convenzione dei telegrafi del 1885 la Gran Bretagna sostenne il diritto delle nazioni in guerra di fare a pezzi i cavi dei loro nemici - un vantaggio evidente per il paese che possedeva ventiquattro delle trenta navi posacavi esistenti. Nel 1898 le tensioni portarono sull'orlo della guerra. In corsa per il controllo di una parte del Nilo in Sudan, lo squadrone del capitano Marchand era pronto a rivendicare una concessione;

ma mentre le truppe britanniche rimanevano in continuo contatto con Londra, i cavi francesi inspiegabilmente ammutolirono. Allorché il governatore francese diede ordine di caricare i cannoni a Dakar (dove erano appena stati gli uomini del *Bureau des Longitudes*), la connessione venne magicamente ristabilita.³⁴

A Parigi, la battaglia per la longitudine tra il campidoglio francese e quello britannico non accennava a finire e non poteva essere contenuta nel dominio della politica. Quando ancora il *Bureau des Longitudes* continuava a tormentarsi sull'opportunità di regolare gli orologi francesi sull'ora di Greenwich, gli astronomi sollevarono puntualmente la più fondamentale delle questioni: qual era la posizione di Parigi rispetto a Londra, o meglio quanto a est era situato l'Osservatorio di Parigi rispetto all'Osservatorio Reale? In precedenza, nel luglio del 1825, le due nazioni rivali avevano cercato di risolvere la questione lanciando razzi dai due lati della Manica e usando le esplosioni per sincronizzare gli orologi. Le Verrier e Sir Gorge Airy ci riprovarono con il telegrafo nel 1854, accordandosi su una differenza di 9 minuti e 20,51 secondi. Sfortunatamente, il consenso venne meno nel 1872 con la campagna dell'*American Coast Survey* che seguì la posa del cavo transatlantico. Si stabilì che Parigi si trovava quasi mezzo secondo più lontano da Londra - 9 minuti e 20,97 secondi. Mezzo secondo era un errore troppo grande per essere tollerato nell'era dei centesimi, se non dei millesimi di secondo, così l'Astronomo Reale, il generale Perrier (direttore del Servizio Geografico dell'Esercito francese) e l'ammiraglio Mouchez (direttore dell'Osservatorio di Parigi) unirono le loro forze nel 1888 per risolvere la questione (così almeno speravano) una volta per tutte.

Nominati due osservatori per ciascun paese, gli astronomi progettarono di eseguire le misurazioni fianco a fianco. Un francese e un inglese avrebbero lavorato letteralmente uno accanto all'altro, una coppia in Inghilterra e l'altra in Francia. Avrebbero usato la stessa linea telegrafica, viaggiato insieme avanti e indietro attraverso *La Manche*, e coordinato le loro procedure sino alla correzione accurata degli errori personali. Avrebbero condiviso persino una singola lampada elettrica a batteria per evitare calore superfluo che avrebbe potuto disturbare i loro strumenti. A Montsouris, quelli francesi e inglesi vennero collocati su pilastri a circa sei metri di distanza. Tuttavia, i risultati li lasciarono costernati:

Differenza longitudinale inglese da Parigi a Londra

9 minuti e 20,85 secondi

Differenza longitudinale francese da Parigi a Londra

9 minuti e 21,06.

Un quinto di secondo. Ancora troppo. Così, nel 1892, quando Poincaré fu eletto membro permanente del *Bureau des Longitudes*, dopo anni di negoziati, il gruppo si rimise ai telegrafi. Di nuovo gli astronomi assicurarono i loro strumenti a pilastri di pietra, lanciarono le onde elettriche e analizzarono accuratamente i dati. Con loro enorme imbarazzo, i risultati non erano in armonia più di quanto lo fossero stati nel 1888. I due maggiori osservatori europei, che pretendevano di disegnare la mappa dell'intero Pianeta, non riuscivano a mettersi d'accordo neppure sulla loro stessa posizione con un margine d'errore minore a un quinto di secondo. Ancora una volta i francesi trovarono una distanza maggiore tra Parigi e Londra di quella rilevata dagli

inglesi. La crisi del tempo telegrafico venne finalmente a soluzione nel 1897-1898, quando al *Bureau des Longitudes* era presidente Loewy prima e Cornu poi. L'Osservatorio di Parigi, in connessione con la Conferenza Geodetica Internazionale, insistette sulla necessità per i due osservatori di stabilizzare la mappa europea mediante un appropriato scambio di segnali temporali.³⁵

Appare chiaro come le convenzioni non risultassero confinate alle alte sfere della geometria o della filosofia, ma fossero per così dire ubiquie. Riguardavano il meridiano fondamentale, il tempo decimalizzato, i cavi sottomarini, la cartografia -persino la posizione relativa di Parigi e Londra. Da qualunque parte si guardasse al *Bureau des Longitudes* nel 1897-1898, gli accordi internazionali in materia di spazio e tempo sembravano urgenti.

Letta in quest'ottica, "La misura del tempo" di Poincaré risulta assai diversa da un trattato puramente metaforico. In primo luogo, il calcolo dell'ora di Parigi da un sito distante (non importa se Londra, Berlino o Dakar) non rappresentava nel 1897 un problema astratto per il *Bureau des Longitudes*: era la questione più impellente della sua missione cartografica. In secondo luogo, il 1897 segnò un'enorme intensificazione della lunga guerra sulla decimalizzazione convenzionale, un dibattito cui Poincaré partecipò direttamente. In breve, nel 1897 più che mai, il *Bureau des Longitudes* aveva la responsabilità di quelle precise misurazioni della simultaneità che avrebbero consentito la stesura di una mappa mondiale sempre più accurata che facesse riferimento al pilastro marmoreo della longitudine dell'Osservatorio di Montsouris.

Quando ne "La misura del tempo" Poincaré sostiene che la simultaneità debba essere intesa come una convenzione, bisogna prenderlo alla lettera. La sincronizzazione di orologi distanti mediante l'osservazione di eventi astronomici era una pratica standard per i topografi francesi, tedeschi, britannici e americani. I transiti di Venere, le occultazioni delle stelle da parte della Luna, le eclissi della nostra Luna e di quelle di Giove, erano tutti fenomeni utili per regolare gli orologi (sia pure in modo poco accurato) sulle remote spiagge coloniali. Nel 1897 Poincaré era da quattro anni membro del *Bureau des Longitudes* e sapeva bene che la coordinazione degli orologi basata sugli avvistamenti astronomici era stata, per varie ragioni, da molto tempo soppiantata dal telegrafo quale standard accurato di simultaneità.

Invece - e questo è il punto cruciale - egli invocò la determinazione telegrafica della longitudine come base per stabilire la simultaneità tra luoghi distanti. In uno dei passi più famosi del suo saggio, insistette sul fatto che nella sincronizzazione degli orologi si *doveva* prendere in considerazione il tempo di trasmissione. Aggiunse immediatamente che questa piccola correzione faceva poca differenza dal punto di vista pratico. E osservò pure che il calcolo preciso del tempo di transito per un segnale telegrafico elettrico era complesso. Sin dal 1892-1893 Poincaré aveva insegnato la teoria della trasmissione telegrafica dei segnali e riesaminato gli studi sperimentali che misuravano la velocità della trasmissione elettrica in fili di ferro e rame. In seguito, questo interesse non diminuì. Nel 1904, in una serie di lezioni all'*École Supérieure de Télégraphie*, egli analizzò dettagliatamente l'"equazione del telegrafista", confrontandola con il lavoro di altri e facendo specifico riferimento alla fisica dei cavi telegrafici sottomarini.³⁶

Negli aspetti pratici del tempo di trasmissione dei segnali è nascosta una delle chiavi del nostro rompicapo. A prima vista, potrebbe sembrare impossibile che i cartografi vittoriani tenessero conto del tempo di trasmissione dei segnali mentre i loro impulsi elettrici viaggiavano simultaneamente per continenti e oceani. Tuttavia, dobbiamo guardare a quello che effettivamente facevano lottando contro la miriade di errori che intervenivano nella procedura. Proprio le correzioni di tali errori mostrano come i cartografi elettrici avessero sin da allora tenuto accuratamente conto del tempo di transito nel sincronizzare i loro orologi tra Parigi e gli estremi più remoti degli Stati Uniti, dell'Asia Sud-Orientale, dell'Africa Orientale e Occidentale. O anche nelle loro intransigenti misurazioni di precisione tra Parigi e Greenwich. Non avevano certo bisogno di aspettare la teoria della relatività.

Come abbiamo visto, nel 1886 il *Coast Survey* degli Stati Uniti fece uno sforzo monumentale per determinare il gap nella longitudine tra Cambridge (Massachusetts) e Greenwich (Inghilterra), attraverso il primo cavo atlantico. I topografi corressero gli usuali errori nella velocità degli orologi e nelle misurazioni della posizione delle stelle. Ma erano perfettamente consapevoli che il tasto del telegrafo premuto a Calais non veniva registrato a Valencia nello stesso preciso istante. Il gap era dovuto in parte agli operatori - le loro reazioni non erano istantanee - e in parte all'inerzia degli strumenti. Ci voleva tempo, per esempio, perché il magnete facesse oscillare lo specchietto quel tanto che bastava per causare una deflessione percepibile del fascio di luce. Tali difficoltà, chiamate dagli autori "errori personali di annotazione", potevano essere in buona parte eliminate misurando i ritardi in condizioni controllate. Ma vi era qualcos'altro che contribuiva in maniera decisiva al ritardo tra l'invio e la ricezione: il tempo necessario al segnale per attraversare l'Atlantico dalla Nuova Scozia all'Irlanda. In mezzo a tutti gli altri errori, ritroviamo stampate anche le misurazioni dei tempi di trasmissione: 25 ottobre 1866, 0,314 secondi; 5 novembre 1866, 0,280 secondi; 6 novembre, 0,248 secondi.³⁷ E lo stesso accade se guardiamo alla miriade di missioni del *Coast Survey* in Messico, nell'America Centrale e in America del Sud. Oppure a quelle di de Bernardières, o ancora alla vasta rete di collegamenti tra gli osservatori europei.

Ovunque i topografi elettrici misuravano il tempo impiegato dal segnale telegrafico ad attraversare i cavi; *ovunque* correggevano quel ritardo per stabilire la simultaneità a distanza. Ecco come ragionavano. Per semplicità, esageriamo in maniera grossolana il tempo di transito del segnale, e diciamo 5 minuti. Supponiamo che l'équipe di osservatori che si trova a est invii il suo segnale alle 12.00, ossia a mezzogiorno in punto ora locale, ai partner occidentali collocati a 1/24 della circonferenza del Globo - ossia esattamente a un'ora verso ovest (-1 ora). A causa del tempo di trasmissione, gli osservatori occidentali riceveranno il segnale alle 11.05 a.m., ora locale. Se dimenticasse di correggere i cinque minuti di ritardo del segnale, l'ingenua missione concluderebbe che il suo punto di longitudine si trova 55 minuti prima (-55 minuti) delle stazioni orientali.

$$(\text{Differenza apparente da est a ovest}) = (\text{differenza reale di longitudine}) + (\text{tempo di trasmissione})$$

(Nel nostro esempio: -55 minuti = -60 minuti + 5 minuti.)

Immaginiamo ora cosa accada a un segnale che viaggia da ovest a est. La stazione occidentale invia il segnale a mezzogiorno, ora locale, (1.00 p.m., ora locale, nella stazione orientale). Ma quando il segnale arriva alla stazione orientale, l'orologio non segna 1.00 p.m., bensì 1.05. Se non fossero consapevoli del tempo impiegato dal segnale a viaggiare, i nostri osservatori concluderebbero che l'ora locale occidentale precede di 65 minuti quella orientale (-65 minuti). In altre parole, la differenza di longitudine effettiva sarebbe *minore* di quella che i nostri osservatori stimerebbero se dimenticassero di tenere conto del tempo di trasmissione del segnale. Ciò significa:

$$(\text{Differenza apparente da ovest a est}) = (\text{differenza reale di longitudine}) - (\text{tempo di trasmissione})$$

(Nel nostro esempio: -65 minuti = -60 minuti -5 minuti.)

Ebbene, se sommiamo le due misurazioni (differenza apparente da est a ovest) e (differenza apparente da ovest a est), otteniamo esattamente il doppio della differenza reale di longitudine. I tempi di trasmissione + e - si annullano a vicenda. Se sottraiamo la (differenza apparente da ovest a est) dalla (differenza apparente da est a ovest), otteniamo il doppio del tempo di trasmissione: (differenza apparente da est a ovest) - (differenza apparente da ovest a est) = 2 x (tempo di trasmissione). Così,

$$\text{Tempo di trasmissione} = 1/2 (\text{differenza apparente da est a ovest}) - (\text{differenza apparente da ovest a est})$$

Questo semplice metodo per calcolare il tempo di trasmissione faceva parte del mantra procedurale di qualsiasi équipe di cartografi sparsa per il mondo: nelle Indie Occidentali, in America Centrale, in America del Sud, in Asia e in Africa. I peripatetici astronomi del *Bureau des Longitudes* lo avevano di certo usato molte volte quando trascinavano le loro baracche di legno da un luogo all'altro: tra Hong Kong e Haiphong, o tra Brest e Cambridge. I cartografi telegrafici constatarono, capirono e dissero chiaramente che il tempo impiegato dal segnale telegrafico *doveva* essere tenuto in considerazione se si volevano stabilire precise determinazioni della simultaneità e, dunque, della longitudine. Per sostenere che nel 1898 Poincaré *non* avesse conoscenza di ciò, dovremmo assumere sia che egli ignorasse *tutti* i rapporti del *Bureau des Longitudes* redatti negli anni in cui vi aveva prestato servizio sia che evitasse con cura di prestare ascolto a qualsiasi discussione circa le procedure in uso. Dovremmo cioè supporre che, quando scrisse ne “La misura del tempo” “vediamoli [gli esperti della longitudine telegrafica] all’opera e vediamo secondo quali regole essi ricerchino la simultaneità”, egli in qualche modo non comprendesse quello che le sue stesse équipe (come ogni altre équipe britannica, americana, tedesca) stavano facendo da un quarto di secolo. Difficile da credere.

Alla fine degli anni Settanta dell'Ottocento - quando il tenente de Bernardières, il capitano Le Clerc e l'astronomo Loewy tentavano, quasi letteralmente, di riattaccare la Francia alla mappa dell'Europa - uno dei loro risultati più importanti fu la differenza di longitudine, determinata per via telegrafo, tra Parigi e Berlino. Il ritardo nella trasmissione doveva attirare immediatamente la loro attenzione. Nel 1882 gli autori annotavano che i loro segnali “erano affetti da piccoli errori imputabili a cause differenti, le quali dovevano tutte essere considerate attentamente”: si trattava di

errori dovuti alla risposta degli elettromagneti, alla perdita di tempo causata dalla lentezza delle parti meccaniche, alla distanza relativa tra le punte dei pennini e, infine, alla “non-istantaneità della trasmissione del flusso elettrico”. Determinare tale tempo di trasmissione richiedeva un certo lavoro nell’osservatorio; gli astronomi-topografi dovevano essere certi, per esempio, che le correnti usate fossero sempre le stesse. Ma dovevano anche presupporre qualcosa, per esempio che la velocità del segnale elettrico fosse sempre la stessa in entrambe le direzioni. Nella definizione delle procedure atte a stabilire l’ora sulla base dello scambio di segnali telegrafici, il linguaggio delle convenzioni entrava dalla porta principale. Per sincronizzare gli orologi tra Berlino e Parigi si dovevano fissare protocolli, concludere accordi; si scriveva addirittura in anticipo il copione dei saluti tra le stazioni. Come nel caso della Convenzione del metro, le convenzioni sulla simultaneità esigevano standard internazionali, accordi dettagliati su ogni passo del processo.

Significativo al riguardo è il fatto che il rapporto del *Bureau des Longitudes* sulle differenze di longitudine tra Parigi e Berlino contenesse un paragrafo espressamente dedicato alle *Convenzioni relative allo scambio di segnali?*.³⁸ Quando, nel 1890, il *Bureau* inserì Bordeaux nella mappa, tra le tante altre correzioni, come gli errori del pendolo e quelli delle equazioni personali, troviamo alla fine “il ritardo *S* della trasmissione elettrica”.³⁹ Per l’équipe francese in Senegal, dunque, rientrava nella routine il tenere conto del tempo finito del segnale del loro impulso elettrico; come in molte altre missioni telegrafiche svolte prima del 1897, l’équipe non fece altro che applicare la regola divenuta ormai usuale per calcolare il tempo di trasmissione: “La differenza tra questi risultati [differenza apparente da Saint-Louis a Dakar e differenza apparente da Dakar a Saint-Louis], che è [0,326 secondi], rappresenta il doppio del tempo impiegato dalla trasmissione dell’onda elettrica, più altri errori”.⁴⁰ Ma per quanto fossero di routine, tali correzioni erano decisive per l’estrema esattezza delle misurazioni con cui Poincaré e i suoi colleghi del *Bureau* si dovevano confrontare. Misurazione dopo misurazione, la compensazione per il ritardo del segnale acquistava sempre più peso nella lotta dei cartografi per eliminare le recalcitranti discrepanze di longitudine che ancora rimanevano tra Parigi e Greenwich, o tra Parigi e le sperdute colonie francesi dell’Africa Occidentale, del Nord Africa e dell’Estremo Oriente.

Col senno di poi, ci appare ovvio che gli scopritori della longitudine dovessero tenere conto del tempo di trasmissione. Dopo tutto, pretendevano di determinare la longitudine con la precisione di un millesimo di secondo, e il tempo di trasmissione della luce su una distanza di 6000 chilometri era circa un cinquantesimo di secondo. Le onde elettriche attraversavano lunghezze equivalenti di cavi di rame sottomarini assai più lentamente, richiedendo una correzione di almeno un *decimo* di secondo. Nel mondo di fine XIX secolo, che si vantava dell’assoluta precisione cartografica, ciò era davvero troppo - ogni errore di un secondo all’equatore comportava una confusione di mezzo chilometro tra est e ovest.

Le osservazioni di Poincaré ne “La misura del tempo” (1898) circa il modo di definire la simultaneità tramite lo scambio di segnali telegrafici non erano, dunque, frutto di una speculazione immaginaria sulla convenzionalità. Si riferivano alla pratica geodetica standard ed erano fatte da uno dei tre esponenti dell’Accademia delle

Scienze che avevano ricevuto l'incarico come membri permanenti del *Bureau des Longitudes*, di gran lunga il più famoso e a pochi mesi dall'elezione a presidente. Ovunque volgesse lo sguardo, egli poteva vedere l'"operazionalizzazione" della simultaneità attraverso l'attiva rete di cavi, pendoli e osservatori mobili dell'Ufficio.

Ma poteva anche vedere come le procedure scientifiche si incrociassero con la filosofia. Circa dodici anni prima, l'amico dell'*École Polytechnique*, il fisico e filosofo Auguste Calinon, lo aveva esortato a sposare una concezione naturalizzata del tempo e della simultaneità. Poincaré aveva risposto in maniera simpatica. Nel 1897 - proprio quando Poincaré era immerso nella decimalizzazione del tempo - Calinon pubblicò un nuovo libro. Il suo trattato di una trentina di pagine, dal titolo *Étude sur les diverses grandeurs en mathématiques*, poneva in evidenza il circolo vizioso dei nostri ragionamenti sull'eguaglianza delle durate. Un contenitore pieno d'acqua viene vuotato attraverso un tubo di scarico alla sua base. Il tempo di svuotamento è lo stesso ogni volta che il processo viene ripetuto? La risposta alla domanda presuppone una misura indipendente del tempo. Ma per Calinon quella domanda riguardava anche la stessa misura indipendente: che cosa calibrerebbe il calibratore? Poincaré fu colpito da tali considerazioni, al punto da citarle ne "La misura del tempo": "Una delle circostanze di un fenomeno qualunque [il tempo necessario a svuotare l'acqua da un contenitore] è la velocità della rotazione della Terra; se questa velocità della rotazione varia, essa costituisce, nella riproduzione di un tal fenomeno, una circostanza che non rimane identica a se stessa. Ma supporre costante questa velocità di rotazione significa supporre di sapere misurare il tempo".⁴¹

Calinon si spingeva persino oltre quanto indicato da Poincaré. Sottolineava l'arbitrarietà storica delle suddivisioni umane del tempo; le stagioni, per esempio, vennero scelte non sulla base di una concezione scientifica o metafisica, ma soltanto per la loro utilità materiale. Quando gli scienziati entrarono in scena, non fecero che adottare il meccanismo "più semplice e più comodo": il moto delle lancette di un orologio era infatti tale che, grazie a esso, le formule per il movimento dei pianeti sarebbero state "le più semplici possibili". Calinon concludeva che la misura del tempo comportava una *scelta* irriducibile, che doveva basarsi sulla comodità: "In realtà, la durata misurabile è una variabile, scelta tra tutte quelle presenti nello studio dei movimenti, perché si presta particolarmente bene alla formulazione di semplici leggi del movimento".⁴²

Nei vari circoli che ruotavano intorno all'*École Polytechnique*, Poincaré si imbatteva di continuo nella "scelta", "comodità" e "semplicità" della misurazione del tempo, sia che venisse a contatto con ambienti tecnici (ferrovieri, elettrotecnici, astronomi) sia che frequentasse la cerchia dei filosofi scientifici. Il saggio del gennaio 1898 ne marcava il punto d'intersezione. La misura del tempo è una convenzione, legata alla realtà delle procedure scientifiche. È essenziale, tuttavia, comprendere anche cosa quel testo *non* fosse. *Non* era un'indagine sulla simultaneità che mirava a introdurre la correzione di principio della simultaneità nel cuore della sua fisica. Non si fa alcun cenno ai sistemi di riferimento, all'elettrodinamica o alla teoria dell'elettrone di Lorentz. Come i suoi geodetici che lavoravano sul campo, all'inizio del 1898 Poincaré vide nello scambio elettromagnetico la chiave per un approccio convenzionale, retto da regole, alla simultaneità. E come i suoi colleghi geodetici, colse le conseguenze

scientifiche di una definizione della simultaneità che tenesse conto del ritardo nella trasmissione del segnale semplicemente come di una correzione ulteriore, da inserire tra l'esitazione inerziale di uno specchio oscillante e la psicofisiologia degli osservatori. Diversamente dai geodetici, però, Poincaré intuì che quella correzione rivelava un aspetto filosoficamente significativo. Come Calinon, dunque, seppe riconoscere la filosofia sottostante alla misurazione scientifica del tempo. Ma, a differenza di lui, egli era coinvolto in prima persona nella coordinazione a distanza degli orologi. Poincaré fu pertanto l'unico a trovarsi all'intersezione tra ambiti così diversi; l'unico a utilizzare lo scambio di segnali elettrici per trasformare un processo fisico di routine nella base di una ridefinizione filosofica del tempo e della simultaneità. Combinando le mosse tipiche dei topografi elettrici con quelle dei filosofi di impronta naturalistica, fece in modo che una parte della quotidiana tecnologia funzionasse all'improvviso in entrambi i domini, che servisse nella sala dell'orologio a Montsouris e, al contempo, arricchisse la *Revue de Métaphysique et de Morale*.

Se guardiamo al campo d'azione di Poincaré nel 1897, non possiamo non vedere come le convenzioni sulla simultaneità fossero ovunque: nessuno si sarebbe preso il disturbo di rivendicare la paternità della regola di correzione del tempo di trasmissione usata nella determinazione della longitudine. La correzione dei geodetici rientrava in quell'oceano di conoscenza anonima, al di sotto della soglia dei brevetti o degli articoli scientifici, che strutturava la pratica quotidiana dei topografi telegrafici. Più in generale, le convenzioni acquistavano visibilità in qualunque conferenza tecnica internazionale, in qualsiasi accordo su lunghezza, elettricità, telegrafia, meridiani e tempo.

Ricordiamo le parole con cui Poincaré descriveva la natura delle leggi fisiche ne "La misura del tempo": "niente regole generali, niente regole rigorose, [piuttosto] una moltitudine di piccole regole applicabili a ciascun caso particolare". Egli credeva che la ridefinizione del tempo fosse un'altra correzione dei cacciatori di longitudini che non doveva intaccare la semplicità delle leggi epocali di Newton: "Queste regole non ci si impongono e ci potremmo divertire a inventarne altre; tuttavia, non ne potremmo fare a meno senza complicare molto l'enunciato delle leggi della fisica, della meccanica, dell'astronomia". Scegliamo queste regole, insisteva Poincaré in un passo assai citato, non perché siano vere, ma perché sono comode. Per quelli che erano i suoi interessi nel 1898, ciò significava conservare le vecchie leggi di Newton, giacché non era possibile immaginare un'alternativa più semplice. "In altri termini", concludeva, "tutte queste regole, tutte queste definizioni, non sono che il frutto di un opportunismo inconscio." Nell'insistenza di Poincaré sulla convenzionalità del tempo riecheggiano idee che, come possiamo ora riconoscere, risuonavano tra le mura e i cavi del *Bureau des Longitudes* e dell'*École Polytechnique* - un universo tecnico in cui diplomatici, scienziati e ingegneri usavano convenzioni internazionali per regolamentare lo scontro tra le reti imperiali dello spazio e del tempo, dei telegrafi e delle mappe. Questo mondo era anche il suo e rappresentava un modo d'essere entro la scienza assai lontano da quello di Einstein.

MISSIONE A QUITO

L'impegno di Poincaré - e del *Bureau* - nell'impresa della longitudine telegrafica si intensificò fra il 1898 e il 1900. Pochi mesi dopo la pubblicazione del rapporto sulle longitudini di Dakar e di Saint-Louis, l'Ufficio ingranò la marcia per inviare un'altra importante spedizione, questa volta in Ecuador, con Poincaré come segretario scientifico. La discussione sulla spedizione era cominciata molto prima, di certo almeno nel 1889, durante l'Esposizione Universale. Durante quella fiera della tecnologia, il delegato americano presso l'Associazione Geodetica Internazionale aveva sottolineato la necessità di calcolare un arco di meridiano (un arco lungo una linea di longitudine) per cercare di determinare la forma della Terra. Se davvero la Terra si allargava intorno all'equatore e si schiacciava ai poli (come aveva predetto Newton due secoli prima), allora un arco longitudinale che copriva, poniamo, cinque gradi di latitudine astronomica nei pressi dell'equatore doveva essere più corto di un arco di cinque gradi situato più vicino a uno dei poli. Che la Terra fosse schiacciata ai poli era cosa nota: la questione era di determinare la sua forma con una precisione al passo coi tempi. Il presidente dell'Ecuador diede la propria approvazione, assicurando ai francesi che avrebbero avuto ogni aiuto dal suo governo. Mentre il progetto rimbalzava tra il Ministero della guerra, quello degli affari esteri e il Servizio geografico dell'esercito, i costi cominciarono a lievitare, benché a nessuno sfuggisse l'importanza dell'impresa.⁴³ Anche la politica ecuadoriana ebbe la sua parte. Divenuto presidente dell'Ecuador il 5 giugno 1895, il generale Eloy Alfaro avviò la secolare Rivoluzione Liberale che aspirava a riformare ogni settore della vita nazionale. La Terra rigonfia poteva attendere.

Il 7 ottobre 1898, il delegato americano al convegno dell'Associazione Geodetica Internazionale, tenutosi quello stesso anno a Stoccarda, lanciò un nuovo appello affinché si inviasse una spedizione a Quito (Ecuador) per realizzare la tanto rinviata misurazione della forma della Terra. Bouquet de la Grye, il delegato francese, ricordò ai convenuti che, appena quattro anni prima, il ministro plenipotenziario dell'Ecuador aveva proposto una spedizione simile, ma la Rivoluzione del 1895 aveva richiesto un "aggiornamento" della questione. Dopo l'educata ammissione del delegato americano, il rappresentante britannico si esprime meno timidamente: le intenzioni erano buone, ma i geodetici dovevano dire esattamente cosa si poteva e doveva fare. Londra chiese alla Francia una risposta sulla necessità di intraprendere l'azione. De la Grye era "persuaso che in Francia si sarebbe guardato con occhio favorevole all'intenzione di riaprire i negoziati su una nuova misurazione dell'arco del Perù". Avendo assistito all'andirivieni per le Americhe delle truppe topografiche americane ed essendo testimoni del quasi monopolio sui cavi sottomarini conquistato dai britannici nel perseguire le loro ambizioni cartografiche, i francesi capivano bene che, se avessero esitato, la *Coast Survey* si sarebbe assunto l'incarico. Se gli americani avessero messo le mani sulla mappa, come diceva Poincaré, "l'onore del nostro paese sarebbe stato ferito".⁴⁴ E la Francia si mobilitò.

Da Parigi, il ministro della pubblica istruzione offrì 20.000 franchi per una

missione di ricognizione a Quito che avrebbe usato personale assegnato dal ministro della guerra. Con questa nuova incursione, il ministro della pubblica istruzione avrebbe esteso di un grado di latitudine a nord e di due gradi a sud la tanto celebrata misurazione del XVIII secolo, destinando l'area intorno a ogni base alla realizzazione di sommari topografici e di rilevamenti dell'orizzonte. I francesi avrebbero immediatamente inviato una spedizione d'avanguardia che avrebbe proceduto con estrema rapidità, attraversando 3500 chilometri di alcune delle più alte vette del mondo in soli quattro mesi. Partita da Bordeaux il 26 maggio 1899, l'équipe lavorò a rotta di collo. In sua assenza, le tensioni con la Gran Bretagna si acuirono; vi era stata la vicenda delle linee francesi che “inesplicabilmente” avevano smesso di funzionare durante la corsa franco-inglese per i possedimenti coloniali sul Nilo; e poi la diretta censura dei cavi da parte dei britannici il 17 novembre 1899, durante la guerra boera. L'8 dicembre 1899, il ministro delle colonie francese annunciò una bolletta per l'affitto dei cavi senza precedenti. Appena una settimana dopo, il Consiglio dei Ministri approvò un piano per una rete imperiale con un budget di cento milioni di franchi. Il progetto fu attaccato su riviste di destra come di sinistra.⁴⁵ L'équipe di cartografi di Quito fece ritorno proprio nel mezzo di queste polemiche, e arrivò a Parigi l'ultimo giorno del XIX secolo.

Nell'incontro di lunedì, 23 luglio 1900, l'Accademia delle Scienze doveva decidere se e come intraprendere la missione. Poincaré lasciò pochi dubbi circa gli obblighi che si aspettava fossero assolti dagli scienziati del suo paese:

Se il nostro paese deve fare la propria parte nella conquista della scienza moderna, questa è una ragione di più per non abbandonare una posizione su cui i nostri padri hanno innalzato, per così dire, la bandiera intellettuale della Francia. Le nostre ragioni sono state riconosciute pubblicamente. Dobbiamo forse rispondere a questi cortesi inviti con una dichiarazione di impotenza? La Francia di oggi è dinamica come centocinquanta anni fa, ed è certo più ricca. Perché mai dovrebbe lasciare a nazioni più giovani il compito di completare quello che la Francia di ieri aveva cominciato?⁴⁶

Il ministro chiese all'Accademia di controllare le operazioni; Poincaré esortò l'augusta corporazione a procedere. Non dovevano forse seguire l'eredità dei loro intrepidi antenati del XVIII secolo, Louis Godin, Pierre Bouguer e Charles-Marie La Condamine, che avevano rilevato un grado di arco a Quito nell'aprile del 1735? Più di centocinquanta anni dopo, tuttavia, i membri dell'Accademia potevano chiedersi se fosse davvero necessario che degli scienziati accompagnassero la spedizione nelle Ande. Per un viaggio del genere occorreva qualcosa di più che l'abilità nell'eseguire calcoli, come doveva ammettere l'alquanto sedentario Poincaré:

Un'alta competenza scientifica, una buona capacità tecnica e un'abitudine alla scrupolosa regolarità sono requisiti indispensabili, ma non sufficienti. Si deve essere in condizione di sopportare una fatica enorme in un territorio privo di risorse e con qualunque clima. Si deve sapere come guidare gli uomini, ottenere l'obbedienza dei propri collaboratori e imporre la stessa obbedienza alle maestranze semi-civilizzate che si è costretti ad assumere. Tutte queste qualità intellettuali, fisiche e morali si trovano riunite negli ufficiali del nostro servizio geografico.⁴⁷

Ciò che l'Accademia poteva fare dalla sua sicura postazione di Parigi era esercitare un controllo scientifico mediante una commissione incaricata di esaminare i quaderni delle osservazioni.

Poincaré in persona diresse tale missione di controllo. Mise in chiaro, nel rapporto del 25 luglio 1900, che per imporre una griglia a questa regione equatoriale occorrevano tre basi. Per ragioni di affidabilità, queste ultime dovevano essere scelte usando gli stessi strumenti impiegati per determinare la lunghezza dei meridiani in Francia. Quito stessa sarebbe stata affidata alle cure di un astronomo (francese) molto abile, Françoise Gonnessiat, dell'Osservatorio di Lione, e l'intera operazione sarebbe stata generosamente finanziata da un anonimo donatore che, come si scoprì più tardi, era il principe Rolando Bonaparte. Mentre gli ufficiali francesi avrebbero operato nelle stazioni estreme, Gonnessiat avrebbe compiuto osservazioni simultanee a Quito, garantendo determinazioni certe della longitudine. Come sempre, il telegrafo era decisivo per stabilire la simultaneità a distanza: un cavo sarebbe andato da Quito a Gayaquil, rafforzando il suo segnale con un relè; un altro avrebbe collegato Quito alla remota stazione nord. Se i relè avessero introdotto errori inaccettabili nella determinazione della simultaneità (cosa che accadeva spesso), Poincaré era pronto a eliminarli dal sistema potenziando la batteria nella stazione iniziale. Al momento, l'équipe era già al lavoro per mettere a punto la rete telegrafica lungo tutto il percorso sino alla stazione sud. Così gli estremi di questa remota rete di montagna sarebbero stati collegati a Quito, e l'ora di Quito a quella di Gayaquil. Gayaquil, a sua volta, avrebbe coordinato i propri orologi attraverso cavi sottomarini collegati alla rete mondiale generale attraverso il Nord America.⁴⁸

L'Accademia approvò il rapporto di Poincaré, e lo stesso fece l'Associazione Geodetica Internazionale nell'ottobre del 1900, durante una riunione in cui il delegato americano si congratulò con i francesi e ricordò loro che gli Stati Uniti avrebbero gradito essere avvisati in anticipo se fosse stato necessario un loro aiuto. Ma non ce ne fu bisogno. Il 9 dicembre 1900, i capitani Maurain (del corpo degli ingegneri) e Lallemand (dell'artiglieria) partirono per l'Ecuador, come avanguardia di quella che, secondo le previsioni, sarebbe stata una missione di quattro anni a Quito.⁴⁹

Lunedì 28 aprile 1902, Poincaré riferiva all'Accademia di Parigi che gli uomini mandati in avanscoperta avevano impiegato mesi per comprare animali da soma e organizzare i convogli. Quando iniziò il viaggio sulle montagne, la spedizione francese disponeva di centoventi muli ed era accompagnata da quaranta portatori indiani e da sei ufficiali ecuadoriani. La vitale barra di misurazione, costituita di due metalli differenti che rispondevano in modo diverso al calore, dovette essere trasportata sulla schiena da un uomo.

Durante la notte, l'umidità distorceva a tal punto i fili del micrometro usato per gli avvistamenti che le osservazioni divennero quasi impossibili tra le sei e le nove di mattina. Poi, intorno alle undici, cominciava a ululare il vento, riempiendo di polvere ogni fessura dell'accampamento, rovinando gli strumenti e torturando gli esploratori. L'accampamento era soggetto a brusche variazioni di temperatura, così repentine che ci si chiedeva se gli strumenti si sarebbero mai assestati in un equilibrio affidabile. In mezzo a tutto ciò, i francesi decisero di usare le loro equazioni personali, piuttosto che cambiare la posizione degli osservatori; altrimenti, avrebbero dovuto affidare la

responsabilità della base ai soli indiani. Lallemand prese due uomini per una missione collaterale nell'estremo nord, con la speranza di estendere la rete in Colombia; ma l'impresa fu subito interrotta da turbolenze politiche. In una digressione alquanto ottimistica, Poincaré riportò che, stando a quanto comunicatogli dal capo della spedizione, prima del 1904 si sarebbe riusciti a stabilire la simultaneità telegrafica in tutte le stazioni dell'estremo nord, eccezione fatta per la Colombia.⁵⁰

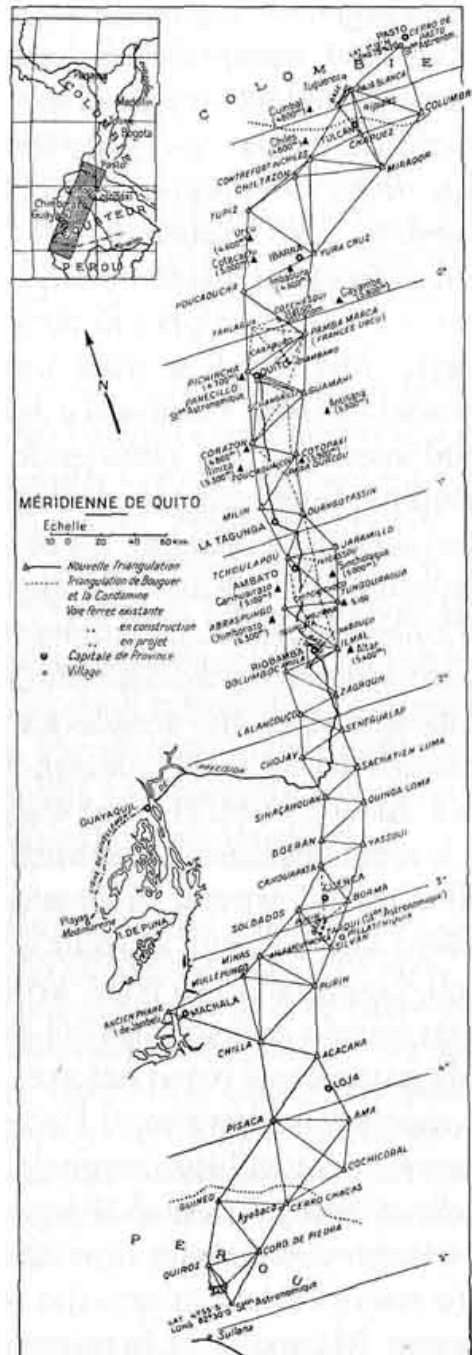


Figura 4.3 Il meridiano di Quito. Poincaré fece regolari relazioni sulla spedizione a Quito. In questa figura, sono illustrate le triangolazioni multiple; esse venivano usate per misurare la lunghezza di un arco longitudinale al fine di determinare con maggior precisione la forma della Terra. Questa rete di misurazioni di latitudine e di longitudine venne poi collegata via cavo alla rete telegrafica mondiale - per poi essere calibrata sul meridiano fondamentale francese. *Fonte: Poincaré, Oeuvres Complètes*, vol. 5, p. 575.

Un anno dopo, Poincaré tornava di fronte all'Accademia, con l'ennesimo rapporto sulle difficoltà incontrate dalla spedizione. Era lunedì, 6 aprile 1903, e i membri della

commissione constatarono con rammarico come il progresso dell'anno precedente si fosse fermato su pressoché tutti i fronti. In primo luogo, le vette erano quasi sempre avvolte nella nebbia, rendendo impossibili gli avvistamenti. Il tenente Perrier aveva buttato via tre mesi nella postazione che gli era stata assegnata a Mirador, a oltre 3600 metri sul livello del mare, immersa quasi costantemente nelle nuvole. Una pioggia incessante martellava il suo sito, e l'orizzonte visibile non andava al di là del campo. Furiosi venti scuotevano le baracche. In quindici giorni, egli poté effettuare soltanto una delle ventuno misurazioni previste, e non ricevette neppure un barlume del segnale che attendeva dai colleghi di Yura Cruz. Le valli che li separavano erano percorse da un fiume di nuvole che giungevano da est. Dopo mesi di isolamento, la perseveranza di Perrier fu ricompensata da un cielo più calmo e limpido. In un impeto di attività, il tenente portò a termine la missione.⁵¹

Altri gruppi incontrarono problemi analoghi e, a giudizio di Poincaré, diedero uguale prova delle loro qualità. A Tacunga, il capitano Maurain riuscì a compiere delle osservazioni solo a intermittenza, approfittando di occasionali schiarite. Un violento vento da est, accompagnato da bufere di neve, rese il suo lavoro eccessivamente gravoso. Le raffiche di vento fecero volare i sostegni del soffitto nella stazione di osservazione, mandando per aria le tende a destra e a sinistra. Alla stazione di Cahuito, Lacombe rimase bloccato per giorni nella nebbia e nella neve, impossibilitato a eseguire la ben che minima osservazione. E Lallemant, che dirigeva la brigata di ricognizione e doveva costruire la linea su un terreno estremamente impervio, cadde in un crepaccio a Cotopaxi. Fu recuperato dai soldati che erano con lui, ma dovette rimanere disteso a letto per tre settimane. Nel bel mezzo di queste battaglie con gli elementi, la spedizione doveva avanzare ipotesi sui possibili legami tra le terribili condizioni del tempo e l'attività vulcanica che era seguita a una catastrofica eruzione in Martinica.⁵²

Non tutte le sventure degli uomini della longitudine potevano, però, essere imputate alla natura. Sia gli indigeni bianchi sia gli indiani calpestarono più volte i punti di riferimento faticosamente stabiliti dai geodetici. I paletti di rilevamento finivano così per segnalare più posizioni di quelle previste. Per i locali, quei segni erano la promessa di ricchezze sepolte. Nella loro corsa all'oro, i cacciatori di tesori non solo rimuovevano i paletti, ma riportavano in superficie tutto quello che gli capitava. I francesi - dopo mesi trascorsi sulle vette innevate e prive di ossigeno - dovettero così rimisurare e rimarcare i siti, anche due o tre volte. Arruolando pure la Chiesa, ingiunsero ai vescovi e ai curati locali di allontanare gli abitanti, ma né la scienza né Dio riuscirono a dissuadere i cercatori d'oro. Nel corso del 1904, i francesi trovarono le loro stazioni distrutte circa diciotto volte, il che li costrinse a rimisurare 360 coppie di punti in alta montagna e in condizioni terribili. L'anno seguente, i membri della spedizione si resero conto con sgomento, mentre congelavano sulle cime scoscese, che i rapporti sulla visibilità dei loro informatori erano stati, per usare le loro stesse parole, "inesatti". I geografi compresero alla fine che i nativi non si erano mai neanche avvicinati a quelle vette. Nelle poche occasioni in cui si erano effettivamente avventurati sino ad altitudini elevate, "visibilità" significava per loro solo vedere abbastanza per riuscire ad arrampicarsi e scendere. Diversamente dalle truppe della simultaneità, i nativi non avevano né il bisogno né il desiderio di vedere lontano per

determinare latitudine e longitudine. Nel frattempo, Lallemand contrasse la febbre gialla e i suoi colleghi lo rispedirono in Francia.

Così Poincaré encomiò la missione: “I lunghi giorni di attesa nella neve e nella nebbia non hanno mai causato neppure un istante di scoraggiamento; e lo zelo, la costanza, e la devozione di questi ufficiali e di tutto il personale non devono mai essere messi in discussione. Vi sono buoni motivi per congratularsi con questi valenti pionieri della Scienza per il loro coraggio e per i risultati che hanno ottenuto”.⁵³ Con in mano le coordinate della mappa, e dopo otto anni di sforzi per catturare il tempo e lo spazio, Poincaré riferì nel 1907 che la spedizione aveva fatto ritorno in Francia.

TEMPO ETEREO

Seguendo la missione di Quito fino al rientro a Parigi, ci siamo spinti troppo oltre. Infatti, durante l'intera spedizione -dalla sua pianificazione nel 1899 sino alla sua conclusione nel 1907 -, Poincaré doveva estendere la tecnologia della simultaneità in due altri domini molto diversi: filosofia e fisica. Non fu un caso. Completato il rapporto sugli obiettivi della missione di Quito (25 luglio 1900), Poincaré si era immerso completamente nei dettagli della simultaneità telegrafica, sino a occuparsi di questioni come l'energia delle batterie che alimentavano le linee dei telegrafi. Aveva fatto presente ai colleghi che la mappatura di Quito aveva una duplice importanza - come difesa dell'onore francese (“issare la bandiera intellettuale della Francia”) e come problema tecnico-scientifico (determinare la forma della Terra, costruire una mappa del mondo). Ma non era tutto.

Smessi i panni del matematico puro, Poincaré rifletteva ora più in generale sulle basi filosofiche, convenzionali della fisica. Pochi giorni dopo aver raccomandato ai colleghi dell'Accademia il progetto della missione a Quito, presentò una relazione a un importante Convegno di filosofia (2 agosto 1900),⁵⁴ in cui sollevava una questione fondamentale su quella che egli stesso considerava *la* scienza più importante: si potevano modificare le idee base della meccanica? Tra i suoi compatrioti francesi, sosteneva Poincaré, la meccanica era stata a lungo trattata come una disciplina che andava oltre la portata dell'esperienza, come una scienza deduttiva che dall'assunzione di principi primi avrebbe inevitabilmente condotto a conclusioni. Al contrario, la meccanica britannica era, alla radice, una scienza non teorica, bensì sperimentale. Se si voleva ottenere un qualche reale progresso in meccanica, si doveva risolvere una volta per tutte il conflitto tra le due sponde della Manica. Quale parte di questa scienza così elogiata era davvero sperimentale? Quale parte, invece, matematica? E - per dirla con lo stesso Poincaré - quale parte era convenzionale?

Nel rispondere a tali domande egli espone, a beneficio dei filosofi, il suo giudizio su quello che si sapeva sui punti di partenza della più fondamentale tra le scienze, attingendo da tutte le sue ricerche sui fondamenti della geometria, la geodesia, la fisica e la filosofia. Nelle sue parole:

1. Non vi è spazio assoluto e concepiamo solo movimenti relativi; ma per lo più i fatti meccanici vengono enunciati come se vi fosse uno spazio assoluto al quale poterli riferire.
2. Non vi è tempo assoluto; dire che due durate sono uguali è un'asserzione che di per sé non ha senso alcuno e che può acquisirne uno solo per convenzione.
3. Non solo non abbiamo l'intuizione diretta dell'uguaglianza di due durate, ma non abbiamo nemmeno quella della simultaneità di due eventi che si producono in luoghi differenti; ciò è quanto ho spiegato in un articolo intitolato "La misura del tempo".
4. Infine, la nostra geometria euclidea non è a sua volta che una sorta di convenzione linguistica.

Per Poincaré, la meccanica poteva essere formulata in modo diverso ricorrendo a una geometria non euclidea. Tale formulazione avrebbe potuto essere meno comoda di quella ordinaria, basata sulla geometria euclidea, e tuttavia sarebbe stata altrettanto legittima. Tempo assoluto, spazio assoluto, simultaneità assoluta, ma anche la geometria assoluta (euclidea), non potevano essere *imposti* alla meccanica. Tali assoluti "non preesistono alla meccanica più di quanto la lingua francese non preesista logicamente alle verità che si esprimono in francese".⁵⁵

Le quattro tesi sopra riportate catturavano buona parte dell'approccio di Poincaré. La prima ribadiva la sua obiezione fisico-filosofica nei confronti dello spazio assoluto. La seconda e la terza ricapitolavano le posizioni de "La misura del tempo" del 1898, mentre la quarta collegava la discussione al suo lavoro precedente sulla convenzionalità della geometria. "La legge dell'accelerazione, la regola della composizione delle forze non sono dunque che convenzioni arbitrarie? Convenzioni, sì; arbitrarie, no; lo sarebbero se perdessimo di vista le esperienze che hanno condotto i fondatori della scienza ad adottarle e che, per quanto imperfette siano, bastano a giustificarle. È bene che, di quando in quando, si richiami la nostra attenzione sull'origine sperimentale di queste convenzioni." Gli esperimenti, per Poincaré, costituivano la materia prima della fisica, a partire da cui la teoria mirava a produrre il maggior numero di predizioni con la più alta probabilità possibile. In altre parole, gli esperimenti potevano servire come "base" della meccanica, suggerendo, per così dire, i principi e il comportamento approssimato del mondo che si voleva incorporare nelle convenzioni (definizioni) di concetti quali forza, massa e accelerazione. Ma ciò non voleva dire che gli esperimenti potessero direttamente invalidare i principi di partenza; nel peggiore dei casi, a suo modo di vedere, essi potevano rivelare che una legge fondamentale era vera solo approssimativamente, "ma questo lo sapevamo già".⁵⁶ Poincaré riassunse le sue riflessioni sul ruolo della teoria in una conferenza tenuta di fronte ai fisici (sempre nel 1900). Come spesso faceva, invocò la metafora della fabbrica basata sulle macchine, concependo gli esperimenti come la "materia prima" e la teoria come la guida organizzatrice: "Per così dire, il problema è quello di aumentare il rendimento della macchina scientifica".⁵⁷

Macchine e strutture meccanomorfe erano vitali per Poincaré persino in matematica. Già nel 1899 aveva attaccato le funzioni "teratologiche" dei logicisti. Tornò sul tema nell'agosto 1900, in occasione di un congresso internazionale di matematica a Parigi. Ancora una volta oppose i logicisti agli intuizionisti. Benché considerasse entrambi gli approcci importanti per lo sviluppo della matematica, era

del tutto chiaro da quale parte stesse. Un matematico (un logico, secondo la suddivisione di Poincaré) poteva riempire pagine e pagine per dimostrare inequivocabilmente che un angolo era divisibile in un qualunque numero di parti uguali. Di contro, egli attirò l'attenzione del pubblico sul matematico di Göttingen, Felix Klein: "egli studia una delle questioni più astratte della teoria delle funzioni: si tratta di sapere se su una data superficie di Riemann esista sempre una funzione che ammetta date singolarità. Che fa il celebre geometra tedesco? Sostituisce tale superficie con una superficie metallica la cui conduttività elettrica varia secondo certe leggi. Egli mette due dei suoi punti in comunicazione coi due poli di una pila. Bisognerà pure, egli dice, che la corrente passi, e il modo in cui questa corrente sarà distribuita sulla superficie definirà una funzione le cui singolarità saranno precisamente quelle che sono previste dall'enunciato". Ebbene, Klein sapeva perfettamente che un ragionamento del genere non fosse rigoroso, ma (diceva Poincaré) egli "credeva probabilmente di scorgervi, se non una dimostrazione rigorosa, almeno non so quale certezza morale". Più precisamente, il logico non sarebbe stato capace di formulare il pensiero dell'intuizionista.⁵⁸ Ma questo era proprio quello che faceva Poincaré: in matematica pura, in geodesia, in filosofia. Senza nel frattempo dimenticare i suoi studi sull'elettricità e il magnetismo, che gli permisero di introdurre le sue idee sulla coordinazione elettromagnetica degli orologi nel cuore della stessa fisica.

Il 10 dicembre 1900, due giorni dopo aver accompagnato alla Gare Saint-Nazaire Lallemand e Maurain, in partenza per la loro missione a Quito, Poincaré tenne una conferenza all'Università di Leida, esponendo le sue idee su spazio, tempo ed etere. Si trattava di un incontro in onore di H.A. Lorentz. Questi rappresentava agli occhi di Poincaré (e, dovrei aggiungere, a quelli di Einstein) una figura singolare tra i fisici. Era stato colui che, per molti versi, aveva esemplificato la nuova categoria professionale del "fisico teorico". Per numerosi fisici, specie fuori dalle isole britanniche, era stato colui che aveva riformulato la teoria dell'elettricità e del magnetismo di Maxwell in maniera comprensibile. Invece di seguire la tradizionale riduzione britannica della materia a flussi d'etere, vortici, tensioni e sforzi, Lorentz aveva avanzato una dottrina più potente: vi erano *due* tipi di cose nel mondo, campi elettrici e magnetici (stati dell'etere) da una parte; particelle materiali, dotate di carica, che si muovevano attraverso l'etere, dall'altra. I campi potevano agire sulle particelle, le particelle potevano creare campi. Ma egli aveva fatto ancor di più, cercando di spiegare l'apparente fallimento dei fisici sperimentali nel rilevare il moto degli oggetti - Terra inclusa - attraverso l'oceano d'etere che si supponeva pervadesse l'Universo.

Da qualche tempo Poincaré, come tutti gli altri fisici più aggiornati, aveva grande familiarità con la teoria di Lorentz. L'aveva pure criticata in una conferenza tenuta alla Sorbona nel 1899, ma con estremo rispetto, essendo convinto che si trattasse della migliore delle teorie allora disponibili. Anche a Leida, con Lorentz tra il pubblico, Poincaré espresse il suo disagio di fronte a quella che considerava una violazione del principio di azione-reazione. Un cannone rincula immediatamente quando spara un colpo; l'etere e gli atomi hanno, invece, la bizzarra proprietà (almeno per Lorentz) per cui un atomo poteva agire sull'etere, ma il materiale che

riceveva l'azione dell'atomo doveva reagire solo più tardi. Che succedeva nel frattempo? L'etere appariva troppo incorporeo per trasmettere la quantità di moto. A Lorentz e ai convenuti, Poincaré dichiarò che avrebbe potuto attenuare simile obiezione. “Rifiuto però questa scusa, dato che ne possiedo una cento volte migliore, *le buone teorie sono flessibili*. [...] Se una teoria ci rivela certi rapporti veri, può abbigliarsi in mille modi diversi, resisterà a tutti gli assalti e ciò che ne costituisce l'essenza non cambierà.” Il merito di Lorentz stava nell'aver costruito una di queste teorie flessibili, ed era davvero buona: “Non domanderò scusa” per aver criticato la teoria, disse. Si rammaricò, invece, di avere così poco da aggiungere alle vecchie idee di Lorentz.⁵⁹ Ma nonostante le sue affermazioni, egli trasformò il significato fisico della teoria di Lorentz.

Alla radice delle vecchie idee di Lorentz stava un'interpretazione teorica di una difficoltà apparentemente intrattabile nella fisica dell'etere. L'etere era semplicemente trascinato dalla materia trasparente? Se fosse stato trascinato dall'atmosfera terrestre, ciò avrebbe potuto spiegare perché gli esperimenti non sembravano rilevare mai il moto della Terra attraverso l'etere. Sfortunatamente, però, un esperimento compiuto intorno alla metà del XIX secolo dal fisico francese Armand-Hippolyte Fizeau sembrò escludere tale ipotesi. Proiettando una luce attraverso flussi d'acqua che scorrevano a diverse velocità, Fizeau riuscì a dimostrare che se l'etere fosse stato trascinato, lo sarebbe stato solo in piccola parte. Ma se l'etere *non* era trascinato dalla materia (e dunque era fissato una volta per tutte nell'Universo), dovevamo allora essere in grado di rilevare il nostro moto attraverso di esso. Ciò è esattamente quello che si propose di scoprire il fisico sperimentale americano Albert Michelson, usando un “interferometro” ottico straordinariamente preciso di sua stessa invenzione (si veda la figura 4.4).

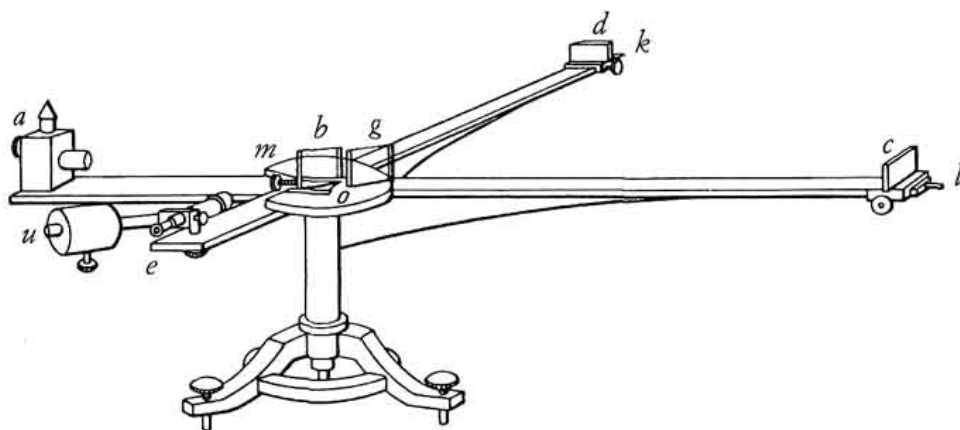


Figura 4.4 A caccia dell'etere. Con un'impressionante serie di esperimenti, Albert Michelson cercò di misurare il moto della Terra attraverso l'elusivo etere. Il dispositivo qui illustrato, che risale al 1881, emetteva un raggio di luce da *a* che veniva scisso da uno specchio semiargentato in *b*. Metà del raggio veniva riflesso verso *d* e nella lente *e*. L'altra metà del raggio penetrava lo specchio in *b*, veniva riflessa da *c*, e poi rimbalzava da *b* verso la lente *e*. In corrispondenza della lente, i due raggi interferivano l'uno con l'altro, presentando all'osservatore una caratteristica frangia in cui si succedevano bande di luce alternativamente chiare e scure. Se un'onda veniva ritardata -anche di pochissimo, di una parte della lunghezza d'onda della luce - questa banda si spostava visibilmente. Così, se la Terra avesse davvero viaggiato attraverso l'etere, il “vento d'etere” avrebbe avuto un effetto sul tempo impiegato dai due raggi per compiere il percorso d'andata e ritorno (la fase relativa delle due onde avrebbe subito uno slittamento). Di conseguenza, Michelson si aspettava, ruotando l'apparecchio, di riscontrare un cambiamento nelle frange di interferenza dei due raggi.

Ma, per quanto girasse e rigirasse il suo strumento incredibilmente sensibile, le bande chiare e scure non si spostavano di un centimetro. Per Lorentz e Poincaré, ciò significava che i bracci dell'interferometro - al pari di tutta la materia - subivano una contrazione nella loro corsa attraverso l'etere tale da nascondere gli effetti. Per Einstein si trattava di un'altra suggestiva evidenza del fatto che l'idea stessa di etere era "superflua".
Fonte: Michelson, "The Relative Motion of the Earth and Luminiferous Ether", in *American Journal of Science*, terza serie, vol. XXII, No. 128 (agosto 1881), p. 124.

Di fatto, Michelson pensava di avere messo l'etere all'angolo. Se vi fosse stato davvero un vento d'etere, allora il tempo impiegato da un raggio di luce per compiere un percorso d'andata e ritorno sarebbe dovuto essere diverso, a seconda che la luce fosse stata inviata contro o a favore del vento. Ma la rotazione dell'apparecchio non rilevava la ben che minima contrazione della macchia scura di interferenza; dato lo straordinario grado di accuratezza, non sembrava che vi fosse alcun moto attraverso l'etere che potesse essere rilevato con mezzi ottici. Benché Michelson vedesse nei suoi sforzi di trovare l'etere un triste fallimento, altri fisici, tra cui Lorentz, ne trassero spunto per nuove teorizzazioni.

Prendendo in considerazione l'esito nullo dell'esperimento di Michelson, nel 1892 Lorentz ipotizzò l'esistenza di un etere statico e introdusse la sconcertante idea secondo cui qualunque oggetto in moto attraverso l'etere si contraeva nella direzione del moto. Per quanto tale "contrazione di Lorentz" potesse suonare bizzarra, la mossa funzionava, nel senso che una scelta opportuna del fattore di contrazione compensava esattamente l'effetto del presunto vento d'etere. La contrazione di Lorentz spiegava perché esperimenti estremamente precisi - come quello dello straordinario interferometro di Michelson - non avrebbero potuto scoprire gli effetti della "brezza eterea" sui fenomeni ottici.

Tuttavia, l'ipotesi della contrazione di Lorentz non era sufficiente. Nel tentativo di dimostrare che *tutti* i fenomeni ottici potessero essere descritti approssimativamente allo stesso modo, egli introdusse nel 1895 una seconda innovazione, un fittizio "tempo locale".⁶⁰ L'idea di Lorentz era che vi fosse un unico vero tempo fisico t_{reale} . Il tempo reale era quello appropriato per oggetti in quiete rispetto all'etere. Per qualsiasi oggetto in moto rispetto all'etere Lorentz trovò utile introdurre un tempo fittizio (un artificio matematico) in virtù del quale le leggi dell'elettricità e del magnetismo per quell'oggetto sarebbero apparse artificialmente simili a quelle per un oggetto immobile nell'etere. Questa utile quantità (t_{locale}) dipendeva dalla velocità (v) dell'oggetto che fendeva l'etere, dalla velocità della luce (c), e dalla posizione dell'oggetto (x); t_{locale} era esattamente uguale a t_{reale} meno vx/c^2 . Perché Lorentz decise di servirsi di questo tempo locale? Solo perché gli permetteva di ottenere un risultato preciso, anche se puramente formale: il tempo locale consentiva di ridescrivere un oggetto reale in moto nell'etere come un oggetto fittizio in quiete rispetto all'etere. Il tempo locale non era, per il fisico olandese, che una comodità matematica.

Poincaré aveva accolto con riserva la teoria di Lorentz, e le sue ipotesi circa la contrazione della lunghezza e il "tempo locale". Nello stesso corso tenuto alla Sorbona nel 1899, non collegò il tempo locale alla sua definizione tecnologico-filosofica di simultaneità; anzi, osservò che le correzioni dovute al "tempo locale" di Lorentz erano così piccole per quanto riguardava il moto della Terra attraverso l'etere (la correzione era solo di tre milionesimi di secondo per due orologi alla distanza di

un chilometro l'uno dall'altro) che potevano essere semplicemente ignorate.⁶¹ Nel frattempo, l'impegno di Poincaré sui problemi della determinazione telegrafica della longitudine doveva intensificarsi. Come abbiamo visto, non solo si dedicò alla pianificazione (1899-1900) della spedizione a Quito, ma fu anche presidente (1899) del *Bureau des Longitudes*. Se in precedenza non aveva voluto addentrarsi nei dettagli delle procedure per la simultaneità, ora ne era completamente assorbito.

Il 23 giugno 1899, per esempio, scrisse all'Astronomo Reale a proposito della discrepanza esistente tra la misurazione francese e quella britannica della differenza di longitudine tra Parigi e Greenwich che era ancora causa di tanta confusione. Potevano i britannici dare immediatamente inizio a un nuovo tentativo? William Christie rispose il 3 agosto: chiese più tempo, ma promise che avrebbe preparato e pubblicato analisi dettagliate delle loro procedure e dei loro strumenti, notando che “sarebbe [stato] desiderabile che pure i risultati francesi relativi alla longitudine Parigi-Greenwich fossero pubblicati in dettaglio”. Christie girò a Poincaré altre lettere che aveva inviato ai suoi colleghi e che vertevano sullo stesso problema. In una missiva a Loewy, Christie sollevava l'ipotesi che la fonte dell'errore potesse essere una discrepanza nel livellamento dello strumento deputato all'avvistamento delle stelle, dipendente dal fatto che esso fosse basato su un filo a piombo oppure su una livella a bolla. L'esercito francese sembrava aver suggerito che la colpa potesse essere degli orologi britannici; no, replicò Christie, ciò era impossibile. Propose invece che sia Greenwich sia Parigi ripetessero la procedura, ma stavolta solo tra due pilastri all'interno di Greenwich e lo stesso all'interno di Montsouris. Presumibilmente, ciò avrebbe consentito di isolare un eventuale errore occorso durante la trasmissione del segnale sotto la Manica. Poincaré replicò immediatamente che non vedeva l'ora di ricevere le pubblicazioni britanniche e che sperava esse contenessero i calcoli dettagliati e i metodi mediante i quali erano stati ridotti i dati; in cambio, i francesi avrebbero aperto i loro libri, così che entrambe le parti avrebbero cercato di eliminare il prima possibile l'imbarazzante discrepanza.⁶²

Nel mezzo di queste misurazioni e di queste diagnosi, Poincaré si trovò faccia a faccia con Lorentz nel convegno del dicembre 1900. Preparandosi per l'occasione, egli reinterpretò in una maniera sorprendentemente nuova il “tempo locale” di Lorentz. Anzitutto, introdusse (pur senza citarla) l'affermazione contenuta ne “La misura del tempo” (1898) per cui la simultaneità poteva essere data da orologi sincronizzati mediante lo scambio di segnali elettromagnetici. Era l'argomento che gli era stato suggerito dall'intersezione di longitudine e metafisica. Poi si spinse oltre e trasferì l'idea tecnologico-filosofica degli orologi coordinati elettricamente all'interno della fisica stessa, formando così una *tripla* intersezione. Per la prima volta utilizzò il metodo di sincronizzazione per orologi in moto attraverso l'etere. Improvvisamente aveva compreso che, se eseguita in moto attraverso l'etere, la procedura telegrafica di sincronizzazione forniva il fittizio tempo locale (t_{locale}) di Lorentz.

Il “tempo locale”, ribadì Poincaré, non era altro che il “tempo” segnato dagli orologi in un sistema di riferimento in moto quando essi venivano coordinati inviando un segnale elettromagnetico dall'uno all'altro. Dunque, non una finzione matematica, bensì quello che osservatori in moto avrebbero effettivamente visto:

Suppongo che osservatori posti in differenti punti, regolino i loro orologi con l'aiuto di segnali luminosi, che cerchino di correggere questi segnali del tempo di trasmissione ma che, ignorando il movimento di traslazione di cui sono animati e credendo di conseguenza che i segnali si trasmettano con la stessa velocità nei due sensi, si limitano a incrociare le osservazioni, inviando un segnale da A in B , e poi un altro da B in A . Il tempo locale t' è il tempo segnato dagli orologi così regolati.⁶³

Ecco la procedura per stabilire elettricamente la simultaneità che abbiamo già incontrato due volte: la prima, quando abbiamo descritto il Poincaré impegnato a determinare la longitudine, la seconda, quando abbiamo raccontato del Poincaré filosofo. Il Poincaré fisico introduce tale procedura in un sistema di riferimento *in moto*.

Seguiamone più da vicino l'argomentazione. Consideriamo un sistema di riferimento in moto che contenga gli orologi A e B e che si muova verso destra attraverso l'etere a una velocità costante v . A causa di questo movimento, il segnale luminoso *da* A *a* B (per esempio) procede in direzione contraria al vento d'etere; la sua velocità è la velocità della luce c , meno la velocità di questo vento, v (come un aeroplano che incontra un vento contrario mentre è in volo dall'Europa agli Stati Uniti). Il segnale luminoso di ritorno da B ad A *aumenta* la sua velocità, grazie a un vento d'etere di coda: essa è, dunque, quella della luce *più* la velocità del vento d'etere ($c + v$).

$A \rightarrow$ (velocità della luce: $c - v$) $\rightarrow B$ $A \leftarrow$ (velocità della luce: $c + v$) $\leftarrow B$
--

/// Etere (in quiete) ///
 $\rightarrow v = \text{velocità del sistema di riferimento} \rightarrow$

Poiché la velocità è diversa nelle due direzioni, un'ingenua coordinazione degli orologi in una sola direzione, condotta da fisici in movimento, condurrebbe a un risultato sbagliato. Per esempio, se B regola il suo orologio con un segnale che proviene da A , usa un segnale che va "realmente" alla velocità $c + v$ (rispetto all'etere). B riceve il segnale troppo presto rispetto a un segnale "corretto" che viaggi alla velocità c . Più lontano è B da A , maggiore è la discrepanza temporale tra l'istante in cui B riceve il segnale spinto dal vento di coda e l'istante in cui lo avrebbe ricevuto se esso avesse viaggiato alla "nobile" velocità c . Così, B deve spostare leggermente indietro il suo orologio - meno se è vicino ad A , di più se è più lontano. Poincaré osservò che la compensazione necessaria per il segnale troppo veloce ($-vx/c^2$) forniva esattamente la correzione del fittizio "tempo locale" di Lorentz.⁶⁴ Il messaggio di Poincaré era: gli orologi in moto attraverso l'etere devono essere coordinati dall'invio di segnali elettromagnetici, esattamente come prima. Ma la coordinazione in un sistema di riferimento in moto richiede uno spostamento degli orologi per compensare gli effetti del vento d'etere.

Lorentz riconobbe la forza della critica di Poincaré in una lettera del 20 gennaio 1901 - senza spendere, tuttavia, una parola sull'interpretazione che questi aveva dato del "tempo locale". Su altre questioni, il fisico olandese fu pronto a cedere: vi era un problema con il principio di azione-reazione e, per quello che poteva vedere, vi sarebbe rimasto per sempre se i fisici volevano rendere conto degli esperimenti; se l'etere era assolutamente rigido e immobile, allora non si poteva coerentemente

parlare di forze che agivano su di esso. Così, l'etere, come egli aveva sostenuto da tempo, poteva esercitare una forza sugli elettroni, ma gli elettroni non potevano esercitare una forza sull'etere. Né una parte dell'etere poteva agire sull'altra - chiunque parlasse in questi termini non avrebbe fatto che invocare "finzioni matematiche". Certo, tali finzioni erano utili per calcolare i modi in cui l'etere alla fine agiva per spostare gli elettroni. Ma erano pur sempre finzioni. In alternativa, speculava Lorentz, si sarebbe potuto dire che l'etere aveva una massa infinita, nel qual caso gli elettroni potevano agire su di esso senza metterlo in moto: "Ma tale soluzione mi sembra piuttosto artificiosa".

Lorentz aveva avanzato una teoria straordinaria, che aveva modificato completamente la fisica, dividendo il mondo tra un immobile oceano d'etere e gli elettroni materiali. La teoria, che ebbe un immenso successo, rendeva conto di una miriade di esperimenti, dalle linee spettrali sino a fenomeni ottici semplici come la riflessione. Ma quando il fisico olandese cercò di estenderla, dovette ricorrere a una varietà di strumenti che, per sua stessa ammissione, erano artificiosi. Suppose che la materia immersa nell'etere si contraesse, che il principio di azione e reazione fosse violato, e che fosse necessaria la finzione matematica del "tempo locale".

Poincaré si avvicinò alla teoria di Lorentz in maniera diversa. Come sempre quando trattava questioni teoriche, la sua procedura fu quella di isolare gli elementi costitutivi della teoria, per poi manipolarne le parti più promettenti fino a ottenere un progresso. A Leida, nel 1900, congiunse il tempo locale di Lorentz con la sua interpretazione convenzionale della simultaneità - la convenzione dei filosofi e dei cacciatori di longitudini. Senza affermazioni altisonanti, mostrò come il tempo locale di Lorentz potesse essere interpretato fisicamente - la convenzione dei telegrafisti veniva ora stipulata in un vento etereo.

Nessuna delle modificazioni apportate alla teoria di Lorentz offuscò il giudizio di Poincaré. Al contrario, nel gennaio 1902, egli candidò proprio Lorentz per il premio Nobel, spiegando alle autorità svedesi come il fisico olandese avesse preso spunto dal fallimento di quelli che lo avevano preceduto nel trovare l'etere o nel motivare il loro insuccesso. Nelle parole di Poincaré: "Era evidente che vi doveva essere una ragione generale; il signor Lorentz ha scoperto tale ragione e l'ha esposta in una forma sorprendente mediante la sua ingegnosa invenzione della 'contrazione del tempo'". Due fenomeni che si svolgevano in luoghi diversi potevano apparire simultanei anche se non lo erano. Era come se l'orologio di uno dei due luoghi andasse più lentamente dell'altro, e come se nessuna esperienza concepibile potesse consentire di scoprire tale discordanza. A giudizio di Poincaré, il fallimento dei fisici sperimentali nell'osservare il movimento della Terra attraverso l'etere non era che uno di questi vani tentativi.⁶⁵

Continuando nel suo *éloge* indirizzato alla commissione del Nobel, egli riconobbe che spesso teorie come quelle di Lorentz venivano considerate fragili. Chiunque avesse guardato alle rovine delle teorizzazioni passate si sarebbe trasformato in uno scettico, ammise. Ma anche se le teorie di Lorentz si fossero alla fine aggiunte alle altre nell'immenso cimitero delle interpretazioni fallite del mondo, nessuno avrebbe mai potuto sostenere che il loro autore avesse predetto per puro caso fatti veri (*faits vrais*). "No, non è per caso, è perché [la teoria di Lorentz] ci ha rivelato relazioni fino ad allora

sconosciute tra fatti che apparentemente erano estranei gli uni agli altri, e perché queste relazioni sono reali; e lo sarebbero anche se gli elettroni non esistessero. Si tratta di quel tipo di verità che si può sperare di trovare in una teoria e che sopravvive a essa. Proprio perché crediamo che l'opera di Lorentz contenga molte verità di questo genere, proponiamo che egli riceva la giusta ricompensa.”⁶⁶

UNA TRIPLA CONGIUNZIONE

Alla fine del 1902, Poincaré aveva speso un intero decennio ad affrontare il problema della coordinazione del tempo da tre prospettive molto diverse. Come illustre membro accademico dal gennaio 1893, aveva sostenuto il tentativo del *Bureau des Longitudes* di ricoprire il mondo con il tempo sincronizzato. Quando la questione della ristrutturazione convenzionale del tempo in un sistema decimale era divenuta urgente, intorno alla metà degli anni Novanta dell'Ottocento, aveva presieduto alla valutazione delle varie alternative, culminata nel rapporto del 1897. Quindi era tornato alla filosofia: nel 1898 aveva dichiarato, rivolto a un pubblico prevalentemente filosofico, che la simultaneità non era altro che una convenzione, che andava definita esattamente nello stesso modo in cui il suo *Bureau* coordinava telegraficamente gli orologi. Dalla *Revue de Métaphysique et de Morale*, solo pochi mesi dopo, si era tornato a occupare, più intensamente che mai, della spedizioni per la longitudine. Dal 1899 in poi aveva rappresentato la *liaison* fra l'Accademia delle Scienze e la complicata e pericolosa missione a Quito che cercava disperatamente di collegare il tempo alla geografia mediante la simultaneità determinata via telegrafo. Nell'estate 1900 aveva fatto la sua affermazione più forte, fino a quel momento, sul carattere convenzionale della simultaneità, affermazione che apparve in uno dei paragrafi più citati del suo *La scienza e l'ipotesi*. Infine, era tornato a occuparsi di fisica. Nel dicembre 1900, aveva “recensito” la teoria di Lorentz, trasformando la finzione matematica del “tempo locale” in una procedura telegrafica, in cui gli osservatori in moto attraverso l'etere sincronizzavano i loro orologi scambiandosi segnali.

Per Poincaré, non si trattava di “generalizzare” dalla fisica alla filosofia, o di “applicare” alla fisica nozioni astratte prese dalla matematica o dalla filosofia. Egli stava piuttosto elaborando un nuovo concetto di tempo e stava mostrando come esso si adattasse alle regole di tre giochi differenti: geodesia, filosofia e fisica. Proprio perché funzionava in tutti questi tre mondi, l'asserzione sulla sincronizzazione e la simultaneità doveva assumere una singolare importanza.

L'intera opera di Poincaré è pervasa da un progressismo da Terza Repubblica, dall'idea che tutti gli aspetti del mondo possano essere migliorati grazie all'impegno della ragione, grazie a un modernismo razionale e attento alla dimensione delle macchine. La sua fiducia recava in sé l'ottimismo di un ingegnere astratto, profondamente convinto che la conquista di qualsiasi aspetto della mappa, non importa se del mondo geografico o della scienza, fosse un compito alla portata della ragione. A parità di condizioni, Poincaré era portato a risolvere i problemi esattamente come aveva affrontato la disputa sulla decimalizzazione del tempo - mettendo le varie

posizioni l'una contro l'altra e isolando freddamente le relazioni più semplici (più comode) fra i termini. Ciò che per Poincaré era davvero reale erano le *relazioni* (le relazioni catturate da Newton, da Lorentz o dalla matematica), non gli oggetti particolari dei nostri sensi. “Si può dire [...] che l'etere non sia meno reale di qualsiasi corpo esterno; dire che questo corpo esiste significa dire che tra il suo colore, il suo sapore e il suo odore vi è un legame intimo, solido e persistente; dire che l'etere esiste significa dire che vi è una parentela naturale tra tutti i fenomeni ottici, e nessuna di queste due affermazioni ha minore valore dell'altra.”⁶⁷ La realtà oggettiva non era nient'altro che l'insieme delle relazioni tra i fenomeni del mondo. Non vi era, per Poincaré, alcun livello *ultraterreno* di esistenza. L'importanza della conoscenza scientifica consisteva nella persistenza di particolari relazioni vere, non nell'inafferrabile realtà delle forme platoniche o dei noumeni.

In generale, egli si teneva lontano da riferimenti politici espliciti o da assoluti morali. Tuttavia, in un paio di occasioni, doveva abbandonare il tono neutrale e moderato dei suoi commenti. Sappiamo, disse all'Associazione generale degli studenti nel maggio del 1903 in un ristorante parigino, che vi sono due sfere gemelle cui dobbiamo rivolgere le nostre azioni: la verità scientifica e quella morale. “Sembra che vi sia un'antinomia tra le nostre due più care aspirazioni, vogliamo essere sinceri e servire la verità; vogliamo essere forti e capaci di agire. [...] Da qui la violenza delle passioni suscitate da una vicenda recente. Su entrambi i fronti, la maggior parte delle persone era guidata dalle intenzioni più nobili. “ Alludendo all'affare Dreyfus che stava allora dividendo il paese, l'anodino sommario di Poincaré metteva la sordina anche alle sue tormentate risposte - la *sua* forte devozione all'esercito francese e la *sua* altrettanto pressante fedeltà agli standard della dimostrazione. Il 4 settembre 1899, durante il secondo processo ad Alfred Dreyfus, Poincaré era intervenuto per procura. La sua lettera criticava aspramente le basi scientifiche dell'accusa secondo cui era stato Dreyfus a scrivere il pezzo di carta incriminato (il famoso *bordereau*) in cui si promettevano segreti di stato francesi a un *attaché* militare tedesco: “È impossibile”, concludeva Poincaré, che “chiunque abbia una solida educazione scientifica” possa dar credito all'insensato uso della statistica fatto dall'accusa. Nonostante questo crudo giudizio, la corte confermò la condanna di Dreyfus, anche se il presidente della Repubblica concesse la grazia.⁶⁸ (Poincaré difese di nuovo Dreyfus qualche anno dopo, con argomenti tecnici ancora più forti.) Ma torniamo al discorso che egli rivolse agli studenti nel 1903. L'azione, insisteva, doveva congiungersi al pensiero.

Il giorno in cui la Francia non avrà più soldati, ma solo pensatori, Guglielmo II sarà il padrone d'Europa. Pensate che avrà allora le vostre stesse aspirazioni? Contate sul fatto che userà il suo potere per difendere i vostri ideali? O riponete la vostra fiducia nella gente e sperate che entrerà in comunione con questi ideali? Questo è quello che tutti speravano nel 1869. Non dovete pensare che quelle che i tedeschi chiamano giustizia e libertà siano le stesse cose che noi chiamiamo con questo nome. [...] Dimenticarsi del nostro paese significa tradire gli ideali e la verità. Senza i soldati dell'Anno II, che cosa sarebbe rimasto della Rivoluzione?⁶⁹

Poincaré aggiungeva che ogni generazione si era interrogata sul destino delle proprie opere, e nessuna più della sua. “Crudelmente colpiti quando avevano raggiunto la maggiore età, i miei contemporanei si misero al lavoro per rimediare al

disastro [della guerra franco-prussiana]. [...] Passarono gli anni e i risultati non arrivarono. E così ora ci chiediamo: avete ereditato questo sogno, senza il quale tutti i vostri sacrifici sarebbero vani? Forse [...] quella che a noi appare come un'ingiustizia intollerabile, [...] una ferita sanguinosa, è per voi solo un brutto ricordo della storia, come i remoti disastri di Agincourt o di Pavia.”⁷⁰

Crisi e riprese erano sempre all'ordine del giorno per Poincaré: in politica, ma anche in filosofia e scienza. Se l'ideale politico della sua generazione era quello di “riparare al disastro” del 1871, vi erano occasioni più a portata di mano in cui la macchina scientifica poteva riorganizzare, ripristinare, migliorare. Nell'aprile 1904 egli ebbe una seconda opportunità per ovviare al danno causato dall'affare Dreyfus. Richiesto dalla corte di un parere sul famoso *bordereau*, Poincaré, insieme con due altri scienziati che erano suoi colleghi all'Osservatorio, esaminò con cura la prova. Rimisurò la grafia usando strumenti astronomici di precisione e controllò a uno a uno i calcoli che facevano parte del ragionamento probabilistico dell'accusa volto a dimostrare con “quasi-certezza” statistica che il *bordereau* fosse opera di Dreyfus. La conclusione di Poincaré fu che l'analisi della grafia condotta dall'accusa non fosse altro che l'applicazione illegittima di cattivi ragionamenti probabilistici a un documento ricostituito in maniera scorretta.⁷¹ Sostenuto da un rapporto lungo cento pagine del 2 agosto 1904, l'intervento di Poincaré ebbe successo. Fece a pezzi, per esempio, la tesi dell'accusa secondo cui Dreyfus aveva scritto la parola “*intérêt*” sul *bordereau*. Alphonse Bertillon, il famoso esperto di grafologia dell'accusa, aveva sostenuto che la parola poteva essere stata scritta solo usando il normografo di una mappa militare - una scala che notoriamente rendeva il diametro di una moneta da cinque centesimi uguale a un chilometro. Insieme con i suoi colleghi matematici, Poincaré fece un enorme ingrandimento di quella singola parola, trasformandola quasi in una grande mappa. Da qui la conclusione: le tesi di Bertillon sulla curvatura, la lunghezza, l'asse e l'altezza delle lettere erano altrettanto arbitrarie (cambiando per ogni lettera) della sua spuria analisi micro-calligrafica dell'accento circonflesso. Non vi era alcuna “particolarità geometrica” in quella parola. Nulla che indicasse che era stata scritta da qualcuno che lavorava a un tavolo da ufficiale usando strumenti della cartografia militare.⁷² Impressionata, la corte scagionò Dreyfus. Ancora una volta, Poincaré aveva trovato un aggiustamento tecnico per una crisi profonda anche se c'era voluto qualcosa più di una tabella di coefficienti (lo stratagemma che aveva usato per risolvere la crisi della decimalizzazione). Lo spirito era, per certi versi, lo stesso: il ragionare per mezzo di macchine e calcoli lo aveva aiutato a disinnescare una crisi.

Ma nuove crisi dovevano sorgere altrove. Nel settembre 1904, solo poche settimane dopo, il Congresso internazionale delle arti e delle scienze si riunì a St. Louis, (Missouri) per un'esposizione internazionale che intendeva celebrare il progresso. Pronunciato nel mezzo di una fiera mondiale organizzata per modellare il mondo (qui Parigi, lì Londra, Torino, New York), il discorso di Poincaré sul futuro della fisica mirava ad abbracciare l'intero campo e a identificarne i punti deboli. La coordinazione del tempo ebbe un ruolo prominente, all'interno di un quadro più ampio di continuità progressiva: “[È vero] ci sono indicazioni di una seria crisi [in fisica]”, Poincaré ammise all'inizio del suo intervento, ma “non lasciamoci

impressionare. Ci viene assicurato che il paziente non morirà di questa malattia e possiamo sempre sperare che la crisi sia benefica, perché la storia del passato sembra garantirlo”.⁷³

A giudizio di Poincaré, la fisica matematica aveva ricevuto la sua prima riforma ideale con la legge di gravità di Newton. Ogni corpo nell’Universo, ogni granello di sabbia, ogni stella erano attratti da ogni altro corpo da una forza inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. Questa semplice legge, nelle sue varianti e applicazioni a differenti tipi di forze, segnò la prima fase della storia della fisica. Quel pacifico regno entrò in crisi quando la rappresentazione di Newton si rivelò inadeguata ai complessi processi industriali che i fisici si trovarono ad affrontare nel XIX secolo. Erano necessari nuovi principi, che consentissero di caratterizzare l’insieme di un processo senza specificare, come avrebbe fatto Newton, ogni minimo dettaglio del meccanismo. Tra questi nuovi principi vi era la stipulazione che la massa di un sistema era sempre la stessa o che l’energia di un sistema rimaneva costante nel tempo. Un grande trionfo fu la teoria di Maxwell, che abbracciava l’ottica e l’elettricità, descrivendone i fenomeni come stati di un immenso e onnipervasivo etere.

Questa seconda fase della fisica, tipica del XIX secolo, andava molto oltre i sogni di Newton? Certamente, sì. Mostrava la futilità della prima fase? “Nemmeno per sogno”, disse Poincaré al pubblico, “pensate forse che questa seconda fase sarebbe mai esistita senza la prima?”. L’idea newtoniana delle forze centrali aveva condotto ai principi del secondo periodo. “È la fisica matematica dei nostri padri che ci ha reso, a poco a poco, familiari con questi vari principi, che ci ha abituato a riconoscerli sotto le diverse spoglie con cui si travestono.”⁷⁴ I nostri predecessori hanno confrontato i principi con l’esperienza, hanno imparato come modificare le loro espressioni per adattare ai dati empirici, hanno esteso i principi e li hanno consolidati. Così siamo giunti a considerare tali principi, incluso quello di conservazione dell’energia, come verità sperimentali. A poco a poco, la vecchia concezione di una forza centrale ha cominciato ad apparire superflua, addirittura ipotetica. L’edificio della fisica newtoniana è stato scosso.

La rappresentazione della nuova “crisi” costituiva, cosa tipica in Poincaré, il preambolo a una piena ripresa. Riecheggiando la posizione migliorista che aveva assunto per quindici anni, egli ribadiva che l’abbandono di credenze passate non comportava alcuna rottura: “Le cornici non sono state infrante, poiché sono elastiche; ma sono state ampliate; i nostri padri, che le hanno fissate, non hanno lavorato invano; e noi riconosciamo nell’odierna scienza i tratti generali dell’abbozzo che essi hanno disegnato”.⁷⁵ Ciò nonostante, la fisica del 1904 si trovava, a suo dire, alle soglie di una nuova fase nella sua storia epocale. Il radio, “questo grande rivoluzionario”, aveva destabilizzato verità accettate dalla fisica, facendo precipitare la crisi. Tutti i principi fisici del XIX secolo vacillavano.

Vi era stata la speranza di dare significato all’etere misurando la velocità con cui la Terra navigava attraverso di esso. Ma Poincaré lamentava che tutti i tentativi, persino quelli più accurati di Michelson, erano falliti, spingendo i teorici ai limiti del loro ingegno. “ [Se] Lorentz se l’è cavata bene, lo ha potuto accumulando ipotesi.” Di queste “ipotesi”, una stava, per Poincaré, sopra tutte le altre:

L'idea più ingegnosa [di Lorentz] è stata quella del tempo locale. Immaginiamo che due osservatori vogliano regolare i loro orologi con segnali ottici; essi si scambiano dei segnali, ma poiché sanno che la trasmissione della luce non è istantanea, fanno in modo di aggiustarli. Quando la stazione B avverte il segnale della stazione A , il suo orologio non deve segnare la stessa ora di quello della stazione A nel momento dell'emissione del segnale, ma deve segnare tale ora aumentata di una costante che rappresenta la durata della trasmissione.

Dapprima Poincaré considerò i possessori dei due orologi in A e B in quiete - le loro due stazioni di osservazione erano fisse rispetto all'etere. Poi, come già aveva fatto nel 1900, si chiese cosa sarebbe accaduto a osservatori in un sistema di riferimento in moto rispetto all'etere. In questo caso, "la durata della trasmissione non sarà la stessa nei due sensi, poiché la stazione A , per esempio, si muove davanti alla perturbazione ottica emanata da B , mentre la stazione B fugge dalla perturbazione ottica emanata da A . Gli orologi regolati in tale maniera non segneranno dunque il tempo reale, segneranno quello che si può chiamare il tempo locale, sì che l'uno di essi ritarderà sull'altro. Poco importa, poiché non abbiamo alcun modo di accorgercene". Tempo reale e tempo locale sono diversi. Nulla, però, consentirebbe *ad A* di rendersi conto che il proprio orologio è indietro rispetto a quello di B , poiché è accelerato esattamente nella stessa misura. "Tutti i fenomeni che si produrranno, per esempio, *in A* saranno in ritardo, ma tutti lo saranno ugualmente, e l'osservatore non se ne accorgerà, poiché il suo orologio ritarda; così, come vuole il *principio di relatività*, non vi sarà alcun modo di sapere se A sia in quiete o in movimento assoluto."⁷⁶

Tuttavia, i soli orologi coordinati non erano sufficienti a salvare l'intero edificio della fisica classica, con tutti i suoi principi. Per Poincaré le sfide della radioattività si libravano come nuvole tempestose sulla disciplina. La conservazione dell'energia era messa in discussione dall'emissione spontanea di particelle radioattive dotate di energia. La conservazione della massa era in difficoltà a causa di veloci particelle cariche che si comportavano come se la loro massa dipendesse dalla velocità.

Il principio di azione-reazione era minacciato perché, stando alla teoria di Lorentz, una lampada che proiettava un fascio di luce rinculava prima che il fascio di luce arrivasse in un qualsiasi altro punto in cui causava il rinculo del corpo che lo assorbiva. Persino il principio di relatività sembrava in cattiva salute e, per salvarlo, il fisico-medico aveva tirato in ballo gli antidoti del "tempo locale" e della contrazione della lunghezza. Che fare? Sicuramente bisognava fidarsi dei fisici sperimentali. Tuttavia, per Poincaré, la catena delle responsabilità terminava con i fisici teorici: loro avevano prodotto tale confusione, loro dove vano risolverla. E nessuna operazione di salvataggio della fisica dei principi avrebbe potuto condurre ad abbandonare la "fisica dei nostri padri". Anzi, il progresso richiedeva una rielaborazione del passato: "prendiamo la teoria di Lorentz e giriamola in ogni senso; modifichiamola a poco a poco, e tutto forse si aggiusterà". Poincaré sperava che l'organismo della fisica potesse conservare la sua costante identità anche attraverso il cambiamento, come un animale che si libera della propria pelle per rigenerarla. Abbandonare un principio come quello di relatività sarebbe stato, insisteva, sacrificare "un'arma preziosa" nella battaglia che era in corso.⁷⁷

Poincaré e Lorentz "rigirarono" davvero "la teoria in tutti sensi", modificandola meglio che potevano. Nel maggio del 1904, Lorentz cambiò la sua vecchia ipotesi

sulla contrazione della lunghezza e il suo fittizio “tempo locale” in maniera tale che, quando la lunghezza contratta e il tempo locale venivano inseriti nelle equazioni della fisica, queste non erano più *approssimativamente* le stesse in tutti i sistemi di riferimento in moto inerziale attraverso l’etere, bensì assolutamente *identiche*.⁷⁸ Tale stupefacente difesa dell’interpretazione di Poincaré del principio di relatività era sufficiente a mettere al lavoro il poliedrico francese. Il 5 giugno 1905 egli espose i risultati raggiunti di fronte all’Accademia delle Scienze. Per la prima volta, disponeva di una teoria in grado di rendere conto sia degli esperimenti ottici sia dei nuovi esperimenti sugli elettroni veloci - ed entrambe le cose, come aveva a lungo sperato, entro la “cornice elastica” della fisica di Lorentz. Pubblicato per intero nel 1906 con il titolo “Sulla dinamica dell’elettrone”, l’articolo pose fine al vecchio progetto di Poincaré di spingere un passo oltre il modello della sincronizzazione degli orologi: la sincronizzazione degli orologi aveva condotto Lorentz a una versione perfezionata del tempo locale, dalla quale seguiva che le equazioni della fisica avevano la stessa forma *in tutti i sistemi di riferimento*.

Solo pochi mesi dopo, nel semestre invernale del 1906-1907, Poincaré spiegava ai suoi studenti come il perfezionamento del “tempo locale” si adattasse alla contrazione di Lorentz, rendendo del tutto impossibile la rilevazione del moto della Terra rispetto all’etere.⁷⁹ Nel 1908, sostenne di nuovo che il tempo di trasmissione *apparente* fosse proporzionale alla distanza *apparente*: “È impossibile sfuggire all’impressione che il principio di relatività sia una legge generale di Natura, che non si possa mai con alcun mezzo ottenere evidenza di nient’altro che la velocità *relativa* degli oggetti” - il moto rispetto all’etere non poteva essere rilevato.⁸⁰ Ecco un monumento al tentativo di Poincaré, durato decenni, di migliorare il meccanismo della fisica, pur mantenendo la “cornice elastica” di quella vecchia - una “nuova meccanica” che conservava l’etere sfidando le vecchie idee di spazio, tempo e simultaneità. Era il modernismo di una macchina astratta.

Per quanto elegante fosse la teoria, con la sua incorporazione del principio di relatività, Poincaré aveva da tempo chiarito che i principi scaturivano dagli esperimenti, e riconosciuto che in virtù di tale radicamento gli esperimenti potevano mettere nei guai i principi. Quello di relatività non faceva eccezione. Anzi, proprio all’inizio della memoria “Sulla dinamica dell’elettrone”, Poincaré ammoniva che l’intera teoria poteva essere minacciata da dati nuovi.⁸¹ Anche Lorentz sentì venire dal laboratorio puzza di bruciato. In una lettera a Poincaré dell’8 marzo 1906, si rallegrò della coincidenza dei loro risultati. Ma tale concordanza significava che entrambi dovevano affrontare un pericolo analogo: “Sfortunatamente, la mia ipotesi dell’appiattimento degli elettroni è in contraddizione con i nuovi esperimenti del signor [Walter] Kaufmann e credo che sarò costretto ad abbandonarla; ho dunque esaurito le mie risorse e mi sembra impossibile stabilire una teoria per cui la traslazione non avrebbe alcuna influenza sui fenomeni elettromagnetici e ottici”.⁸²

All’epoca in cui mettevano per iscritto tali preoccupazioni, Poincaré e Lorentz erano consapevoli del pericolo mortale che incombeva sui punti essenziali della loro fisica - la ricerca di una spiegazione della microfisica dell’elettrone, la lunga battaglia per sostenere il principio di relatività, nonché l’interminabile impresa di specificare lo statuto dell’etere. Negli anni immediatamente successivi al 1905, alcuni fisici

assimilarono la nuova teoria alla vecchia ambizione di trovare una spiegazione in termini elettrici dell'intera fisica. Altri si impadronirono della sua matematica, ignorando la riforma del concetto di tempo. Ma, alla fine, la minaccia più grande non venne dai magneti, dai tubi e dalle lastre fotografiche degli studi di Kaufmann sul modo in cui gli elettroni veloci erano deflessi dai campi magnetici ed elettrici, o da qualche altro lavoro di laboratorio. Benché le "vere relazioni" della sua fisica siano sopravvissute, la visione di Poincaré del tempo e dello spazio della fisica moderna - che valorizzava l'etere come cornice ineliminabile di un'intuitiva comprensione matematizzata che separava nettamente il tempo reale da quello apparente - perse a lungo andare la posizione che aveva avuto nella presentazione canonica della fisica. Uno sconosciuto fisico ventiseienne, impiegato all'Ufficio brevetti di Berna, stava per abbozzare un percorso diverso che metteva da parte la struttura dell'elettone, l'etere e la distinzione tra tempo "apparente" e "reale", introducendo nella teoria un orologio coordinato, non come ausilio dell'interpretazione fisica del tempo locale, ma come chiave di volta dell'arco relativistico.

5

GLI OROLOGI DI EINSTEIN

LA MATERIALIZZAZIONE DEL TEMPO

Nel giugno 1905 il contrasto tra Einstein e Poincaré non poteva essere maggiore. Poincaré era membro dell'Accademia, viveva a Parigi, aveva cinquantuno anni ed era all'apice della carriera. Aveva insegnato presso le più illustri istituzioni francesi, guidato commissioni interministeriali e pubblicato un numero impressionante di volumi - su meccanica celeste, elettricità e magnetismo, telegrafia senza fili e termodinamica. Con oltre duecento articoli tecnici all'attivo, aveva cambiato il volto di interi campi della scienza. Grazie alla sua raccolta di saggi filosofici, un vero e proprio best-seller, le sue riflessioni astratte sul significato dell'impresa scientifica erano note a un pubblico enorme, tra cui lo stesso Einstein. Questi, di contro, a ventisei anni, era uno sconosciuto impiegato dell'Ufficio brevetti che viveva in un appartamento di uno stabile senza ascensore in un modesto quartiere di Berna.

A differenza della Francia o della Gran Bretagna, la Svizzera non era una potenza coloniale. Diversamente dagli Stati Uniti o dalla Russia, non si estendeva su un'ampia longitudine, né aveva un solo ettaro di terra disabitata che potesse essere colonizzata tramite ferrovie, telegrafi e collegamenti orari. Di fatto, la Svizzera adottò tardi il telegrafo e, rispetto ad altri paesi europei, fu lenta a sviluppare una rete ferroviaria. Quando, però, alla fine del XIX secolo, ferrovie e telegrafi attraversarono le sue montagne, il movimento per la sincronizzazione degli orologi si sviluppò rapidamente - e ciò non deve sorprenderci, dal momento che la produzione di orologi di precisione aveva in quel periodo grande importanza sia per l'orgoglio nazionale sia per l'economia.¹

Il celebre orologiaio Mathias Hipp trovò ottima accoglienza in Svizzera. Bandito nel 1848 dalla natia Württemberg per la sua militanza repubblicana e democratica, trafficava macchine temporali di ogni tipo. Realizzò pendoli elettrici così regolari da superare di gran lunga quelli meccanici: vi era un pesante pendolo che oscillava liberamente, salvo quando richiedeva un piccolo incoraggiamento elettromagnetico. Oltre tali orologi elettrici, Hipp perfezionò degli orologi-registratori che modificarono radicalmente la psicologia sperimentale. Collaborando con fisici e astronomi, determinò la velocità di trasmissione di nervi, segnali telegrafici e segnali

luminosi, inventando, modificando e producendo nuovi modi di impiegare l'elettricità e gli orologi per materializzare il tempo. Benché lavorasse a stretto contatto con scienziati (specie con l'astronomo svizzero Adolph Hirsch), Hipp era più un artigiano-imprenditore che un dotto matematico. Dopo aver messo in piedi fabbriche che producevano apparati elettrici e telegrafici a Berna, e poi a Neuchâtel e a Zurigo, Hipp portò la sua compagnia a sempre maggiori successi, a cominciare dalla costruzione della prima rete di orologi pubblici a Ginevra (1861). Nel 1899 l'azienda di Hipp diventò A. De Peyer-A. Favarger et Cie; da allora al 1908, la gamma degli orologi maestri venne estesa oltre il dominio degli osservatori e delle ferrovie, agli orologi da campanile e persino alle sveglie degli alberghi.² La marcia trionfale del tempo invadeva ogni strada, e gli ingegneri avevano bisogno di metodi per ampliare indefinitamente il numero di unità che potevano essere messe in rete. Arrivò così un'inondazione di brevetti che perfezionavano relè e amplificatori di segnale.

Prima dell'unificazione del tempo, chi voleva esporre l'ora esatta su un grande edificio aveva bisogno di più di un orologio. Intorno al 1880, la Torre dell'Isola a Ginevra ne sfoggiava tre: un grosso quadrante al centro segnava l'ora di Ginevra (10.13 circa); il quadrante a sinistra riportava l'ora di Parigi per la linea ferroviaria Parigi-Lione-Mediterraneo (9.58); e l'orologio a destra segnava l'ora di Berna (10.18), cinque minuti avanti rispetto a quella di Ginevra. La sincronizzazione degli orologi svizzeri era sotto gli occhi di tutti - proprio come il caos del tempo scoordinato.

Berna inaugurò la propria rete di orologi urbani nel 1890; perfezionamenti, espansioni e nuove reti fiorirono nell'intera Svizzera. Un'accurata coordinazione del tempo non interessava soltanto i passeggeri delle ferrovie europee e l'esercito prussiano, ma era altrettanto decisiva per la sparpagliata industria orologiera svizzera, alla disperata ricerca di mezzi per una taratura coerente.³ Ma il tempo era sempre qualcosa di pratico e di più che pratico; necessità economico-materiale e immaginario culturale. Il professor Wilhelm Forster dell'Osservatorio di Berlino, che regolava il proprio orologio maestro tramite osservazioni celesti, intuì che un orologio urbano che non garantisse l'ora esatta con la precisione del minuto era una macchina che mostrava un "totale disprezzo della gente".⁴

L'Ufficio brevetti di Einstein rappresentava una finestra aperta su questo mondo elettro-cronometrico in un momento cruciale nella sincronizzazione del tempo in Svizzera. Nonostante l'enorme sostegno dato dal generale von Moltke al progetto di un'unificazione pangermanica del tempo, e il persistente entusiasmo dei sostenitori americani di un'unica ora mondiale, Albert Favarger, uno degli ingegneri capo di Hipp e suo successore al vertice della compagnia, non era per niente soddisfatto di come progredivano le cose. Era sua intenzione dirlo, di fronte a un pubblico molto ampio, in occasione dell'Esposizione Universale di Parigi del 1900. Il Congresso internazionale di cronometria era qui riunito per discutere, tra le altre cose, dello statuto della coordinazione degli orologi.⁵



Figura 5.1 Tre orologi: Torre dell'Isola di Ginevra (1880 circa). Prima dell'unificazione del tempo, un'elegante torre dell'orologio come questa esibiva al pubblico la molteplicità delle ore. *Fonte:* Centre d'Iconographie Genevoise, RVG, N 13x18 14934.



Figura 5.2 Un orologio: Torre dell'Isola di Ginevra (dopo il 1866). Dopo l'unificazione del tempo, la stessa torre illustrata in figura 5.1 richiedeva un solo orologio: l'unificazione del tempo era visibile per tutti. *Fonte:* Centre d'Iconographie Genevoise, RVG, N 13x18 1769.

All'inizio del suo discorso Favarger chiese come fosse possibile che la distribuzione del tempo elettrico fosse in così preoccupante ritardo rispetto alle tecnologie correlate della telegrafia e della telefonia. In primo luogo, suggerì, vi erano difficoltà tecniche; gli orologi coordinati a distanza non potevano contare su alcun “amico compiacente” (“*ami complaisant*”) che li sorvegliasse e fosse pronto a intervenire alla minima difficoltà, mentre il motore a vapore, la dinamo o il telegrafo funzionavano tutti in costante compagnia dell'uomo. In secondo luogo, vi era un gap tecnico - i migliori

esperti erano impegnati nei settori delle comunicazioni e dell'energia, non nell'industria del tempo. Infine, lamentava, la collettività non finanziava la distribuzione del tempo come avrebbe dovuto. La scarsa promozione sconcertava Favarger: "Com'è possibile che non abbiamo sentito il bisogno imperioso, assoluto, direi collettivo, di una distribuzione esatta, uniforme e regolare del tempo? [...] La domanda sembra sconfinare nell'impudenza allorché è rivolta a persone di fine XIX secolo, immerse negli affari e sempre di corsa, che hanno fatto proprio il famoso adagio: il tempo è denaro".⁶

Quanto a Favarger, il misero stato della distribuzione del tempo era del tutto sproporzionato alle esigenze della vita contemporanea. Insisteva che gli esseri umani avevano bisogno di esattezza e universalità. Nessun antiquato sistema meccanico, idraulico o pneumatico poteva fare al caso loro. L'elettricità era la chiave del futuro, di un futuro che sarebbe arrivato davvero solo se l'umanità avesse rotto con il passato degli orologi meccanici: un'era tecnica lacerata dall'anarchia, dall'incoerenza, dalla routine. Invece che sul caos pneumatico di Parigi o di Vienna, il nuovo mondo degli orologi elettro-coordinati si sarebbe basato su un approccio razionale e metodico. Nelle sue parole:

Non dovete vagare a lungo per Parigi per notare numerosi orologi, sia pubblici sia privati, in disaccordo tra loro - qual è quello che mente di più? Di fatto, anche se a mentire è uno solo di essi, sospettiamo della sincerità di tutti. La gente acquisterà sicurezza solo quando tutti i singoli orologi segneranno, all'unanimità, la stessa ora, nello stesso istante.⁷

Come poteva essere altrimenti? In termini che richiamavano le battaglie sul tempo che si erano svolte negli Stati Uniti alcuni anni prima, Favarger ricordò al pubblico dell'Esposizione che la velocità dei treni che rombavano attraverso l'Europa stava aumentando sino a 100, 150 e persino 200 chilometri all'ora. Coloro che guidavano i treni e coloro che ne regolavano il traffico, per non parlare dei passeggeri che affidavano la loro vita a vagoni lanciati a tutta velocità, avevano bisogno dell'ora corretta. A 55 metri al secondo, ogni singolo battito era decisivo, e i sistemi meccanici di coordinazione, ancora prevalenti ma obsoleti, erano del tutto inadeguati. Solo un sistema elettrico, automatico, sarebbe stato davvero appropriato. "I sistemi non automatici, i più primitivi e tuttavia i più diffusi, sono la causa diretta dell'anarchia del tempo cui dobbiamo sottrarci."⁸

L'anarchia del tempo. La locuzione di Favarger non poteva non richiamare alla mente dei suoi ascoltatori l'anarchismo che aveva preso potentemente piede presso gli orologiai dello Jura (o, per i parigini, l'attentato dell'anarchico Martial Bourdin all'Osservatorio di Greenwich). Peter Kropotkin aveva ampiamente pubblicizzato l'anarchismo degli orologiai appena un anno prima nelle sue *Memorie di un rivoluzionario*:

Le relazioni egualitarie che ho trovato nelle montagne dello Jura, l'indipendenza di pensiero e di espressione che ho visto svilupparsi nei lavoratori, e la loro devozione illimitata alla causa, mi colpirono ancora di più; e quando venni via dalle montagne, dopo un soggiorno di una settimana con gli orologiai, le mie idee sul socialismo si erano chiarite. Ero un anarchico.⁹

Tuttavia, Favarger si preoccupava più dell'anarchismo che emergeva da una più ampia disintegrazione della regolarità nelle persone e nella società. I vecchi sistemi pneumatici - quei vecchi tubi ramificati, azionati a vapore, che inviavano impulsi ad aria compressa agli orologi pubblici e privati di Vienna e di Parigi - non facevano per lui. Solo la distribuzione elettrica della simultaneità poteva fornire un'"indefinita espansione dell'area di unificazione del tempo".¹⁰ L'incrollabile sostegno di Favarger alla simultaneità a distanza aveva molte fonti; veniva dalle esigenze pratiche degli orari ferroviari, dalle ambizioni imprenditoriali della sua compagnia e persino dalla consapevolezza di quello che il tempo significasse per la vita di un cittadino moderno. La sincronizzazione del tempo era, insieme, questione politica, pragmatica e di profitto. Se riuscissimo a evitare questo temuto "anarco-orologismo", assicurava Favarger, colmeremmo una grande lacuna nella nostra conoscenza del mondo. Per quanto l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure, con sede a Parigi, avesse già cominciato l'opera di conquista delle due quantità fondamentali - spazio e massa -, l'ultima frontiera, il tempo, restava ancora inesplorata.¹¹ E il modo migliore di andare alla conquista del tempo consisteva nel creare una rete elettrica in continua espansione, collegata a un orologio madre, regolato da un osservatorio, che guidasse i relè per moltiplicare il segnale e inviasse automaticamente gli impulsi per regolare gli orologi negli alberghi, negli angoli delle strade e nei campanili dell'intero continente. Tra le compagnie affiliate a quella di Favarger ve ne era una che intendeva sincronizzare la rete bernese. Quando, il 1° agosto 1890, Berna mise in moto le lancette dei propri orologi coordinati, la stampa salutò l'evento come "la rivoluzione degli orologi".¹² Ancor oggi possiamo vedere in molti luoghi di Berna i quadranti di diversi grandiosi orologi pubblici. In quell'agosto 1890, quando cominciarono a segnare il passo tutti insieme, l'ordine dettato dal tempo coordinato era scritto sull'architettura delle gallerie e delle chiese. Gli orologiai svizzeri si erano uniti pubblicamente al grande progetto mondiale della simultaneità elettrica.

MACCHINE TEORICHE

Durante gli anni Novanta dell'Ottocento Einstein non si occupava affatto di orologi; nel 1895 era un giovanotto di sedici anni, assai interessato alla natura della radiazione elettromagnetica. Quell'estate, mise per iscritto le proprie riflessioni su come lo stato dell'etere si sarebbe modificato in presenza di un campo magnetico; sul modo, per esempio, in cui le sue parti si sarebbero dilatate in risposta al passaggio di un'onda. Persino la sua indisciplinata immaginazione era a disagio con la "concezione usuale" della radiazione, intesa come un'onda in un etere statico e materiale. Supponiamo, scrisse in seguito ricostruendo i pensieri di allora, di poter raggiungere un'onda luminosa e, per così dire, cavalcarla, come sembra implicare la fisica classica. Vedremmo allora l'onda elettromagnetica dispiegarsi davanti a noi, il campo oscillare nello spazio, ma congelare nel tempo. Tuttavia, nessuno mai aveva osservato nulla che potesse assomigliare a tale onda congelata.¹³ Vi era qualcosa di sbagliato in tale modo di pensare, ma Einstein non sapeva cosa.

Dopo che una prima domanda di ammissione era stata respinta, il giovane Albert cominciò la propria formazione superiore in una delle più grandi università tecniche della Svizzera (e d'Europa): la *Eidgenössische Technische Hochschule* (ETH), fondata nel 1855. L'ETH del 1896 era assai diversa dall'*École Polytechnique* in cui Poincaré era entrato nei primi anni Settanta dell'Ottocento. Certo, entrambe attribuivano molta importanza all'ingegneria. Ma la fama dell'*École* si era basata per molto tempo sulla miscela concentrata di matematica pura e pratica scientifica con cui formava l'élite francese e che consentiva agli allievi di costruire le loro carriere in posti come l'*École des Mines*. Fin dall'epoca di Napoleone i francesi avevano nutrito l'ambizione di garantire una buona formazione in matematica superiore a un'élite, che sarebbe stata così in grado (al momento opportuno) di soddisfare alle esigenze del mondo pratico che era chiamata a controllare. Fondata a metà del XIX secolo, in una Svizzera povera di risorse naturali e da tempo desiderosa di mettersi al passo con la rapida industrializzazione di Francia, Gran Bretagna e Germania, l'ETH era molto diversa. Perseguiva un legame immediato tra teoria e prassi. Non vi era mai un momento in cui le esigenze della costruzione di strade, ferrovie, ponti, impianti idrici ed elettrici, venissero perse di vista o anche solo messe in secondo piano.¹⁴ Prendiamo la meccanica. All'*École Polytechnique* Poincaré la considerava il “marchio di fabbrica” di tutti gli studenti, da quelli che aspiravano a diventare matematici astratti a quelli che l'ambizione avrebbe portato a ricoprire incarichi amministrativi o militari. La matematica era la regina, strutturava l'insegnamento della meccanica in modo tale che le sue astrazioni venivano specificate gradualmente, sino al punto in cui si incontravano con le applicazioni. A Zurigo, invece, era stato un ingegnere minerario, con scarso interesse per la matematica astratta, a dare la propria impronta al corso di meccanica nel 1855. Più vicini alla pedagogia tedesca che a quella francese, gli svizzeri insistevano che le nozioni astratte non dovessero attendere uno stadio successivo della formazione per l'eventuale riconciliazione con quelle applicative. Gli industriali avevano bisogno d'aiuto per costruire ogni cosa, dai telegrafi ai treni, dagli impianti idrici ai ponti. Sin dall'inizio (e per tutta la sua storia), all'ETH astrazione e applicazione andarono a braccetto.

Così, mentre Poincaré e i suoi contemporanei apprendevano le tecniche di sperimentazione assistendo alle dimostrazioni in un grande anfiteatro, Einstein spendeva gran parte del tempo in corsi pratici nei ben equipaggiati laboratori dell'ETH. La trattazione formale dei principi che regolavano i vari dispositivi era una caratteristica dell'*Ernie*; quando Cornu voleva studiare gli orologi sincronizzati, elaborava un'elegante teoria della fisica sottostante. Di contro, quando il professore di fisica di Einstein, Heinrich Friedrich Weber, faceva lezione, parlava della capacità di conduzione del granito, dell'arenaria e del vetro. La termodinamica all'ETH oscillava tra equazioni di base, dettagliati calcoli numerici e attrezzature di laboratorio fatte di vetri, pompe e termometri, come il giovane Albert annotava con cura sui suoi quaderni.¹⁵ Di fatto, le differenze tra le due istituzioni riflettevano le loro diverse concezioni riguardo a ciò che le teorie dicono sul mondo. All'*École* Poincaré aveva incontrato un orgoglioso agnosticismo nei confronti degli atomi (o di molti altri oggetti fisici ipotetici). All'ETH Weber e colleghi non avevano tempo per atteggiamenti pretenziosi, né nutrivano alcun interesse per l'esplorazione, fine a se

stessa, della miriade di modi diversi in cui era possibile interpretare un insieme di fenomeni. Dopo aver introdotto il “calore” senza preoccuparsi minimamente della sua “vera natura”, Weber sosteneva che la connessione tra le quantità fisiche conduceva direttamente a una rappresentazione meccanica in cui il calore non era altro che moto molecolare. Poi calcolava i numeri delle molecole e fissava le loro proprietà. Non vi era alcun realismo metafisico, bensì soltanto la valutazione da ingegnere pratico che gli atomi consentivano di andare avanti nel lavoro.¹⁶

Nell'estate 1899 Einstein si stava ancora scervellando su etere, corpi in movimento ed elettrodinamica. All'amata Mileva Marič ricordava che, già ad Aarau (durante le scuole superiori), aveva escogitato un modo per misurare, e forse spiegare, come la luce viaggiasse attraverso i corpi trasparenti quando questi ultimi erano trascinati attraverso l'etere.¹⁷ Le rammentava la sua sensazione che le teorie ingenue dell'etere materiale, quelle che parlavano di pezzi di etere sparsi qua e là che si muovevano a destra e a sinistra, dovessero semplicemente essere abbandonate. Un atteggiamento così austero nei confronti della teoria derivava in gran parte dall'enfasi che all'ETH veniva posta sulla misurazione. Tuttavia, Einstein era deluso dal fatto che l'insegnamento della scuola non dedicasse maggior spazio alla teoria maxwelliana dell'elettricità e del magnetismo. Così, cominciò a studiarla da solo, e una fonte importante fu per lui l'opera di Heinrich Hertz. Questi aveva ridotto la complicata teoria di Maxwell alle sue equazioni essenziali e, nello stupore generale, aveva dimostrato sperimentalmente l'esistenza di onde elettriche (radio) nell'etere. Durante la sua breve vita, Hertz aveva dedicato straordinaria attenzione ai differenti modi di formulare teorie dell'elettricità e del magnetismo, mettendo in dubbio che il “nome” elettricità o il “nome” magnetismo corrispondessero ad alcunché di sostanziale. Einstein poté così volgere la spada critica di Hertz contro l'etere ancora vibrante:

Ho restituito il volume di Helmholtz e sto ora rileggendo con grande attenzione la propagazione della forza elettrica di Hertz, poiché non ho capito il trattato di Helmholtz sul principio di minima azione in elettrodinamica. Sono sempre più convinto che l'elettrodinamica dei corpi in movimento, come viene presentata oggi, non corrisponda alla realtà e che sarà in futuro possibile presentarla in modo più semplice. L'introduzione del nome “etere” nelle teorie dell'elettricità ha portato alla concezione di un mezzo il cui moto può essere descritto senza che sia possibile, credo, attribuire a esso alcun significato fisico.¹⁸

Elettricità, magnetismo e correnti, concludeva Einstein, dovevano poter essere definite non come modificazioni di un etere materiale, bensì come il moto attraverso lo spazio vuoto di “vere” masse elettriche dotate di realtà fisica. Una concezione statica, non materiale, dell'etere poteva funzionare meglio di una materiale, e (seguendo l'acclamata teoria di Lorentz) molti fisici eminenti avevano in mente proprio qualcosa del genere.

Poiché i fisici sperimentali non erano in grado di trascinare l'etere o di rilevare il moto attraverso di esso, Einstein si liberò intorno al 1901 anche di questa statica immaterialità. L'etere, pilastro delle teorie fisiche del XIX secolo, venne spazzato via. Per Einstein, non era né il costituente ultimo delle particelle elettriche, né il medium onnipervasivo necessario alla propagazione della luce. Prima ancora di metter piede all'Ufficio brevetti, egli disponeva di alcuni pezzi cruciali del puzzle, ed

è possibile che avesse già cominciato a invocare il principio di relatività.¹⁹ Di certo stava riconsiderando il significato delle equazioni di Maxwell e propendeva per una rappresentazione realistica della cariche elettriche in moto. Si era sbarazzato dell'etere. Tuttavia, nessuna di queste considerazioni aveva ancora direttamente a che fare con il *tempo*.

Dal 1900 al 1902 Einstein rimase ai margini della scienza istituzionalizzata. Nonostante il diploma ottenuto all'ETH nel luglio 1900, non riuscì ad assicurarsi un posto all'università. Si mise a dare ripetizioni e, fuori dalle mura universitarie, cominciò a inoltrarsi in due ambiti della fisica teorica. Da una parte, esplorò la natura della termodinamica (la scienza del calore), con particolare attenzione ai suoi fondamenti e all'estensione nella meccanica statistica (la teoria secondo cui il calore non è altro che il moto di particelle). Dall'altra, si sforzò, pur non pubblicando ancora nulla, di afferrare la natura della luce e le sue interazioni con la materia. Sopra ogni altra cosa, voleva sapere come avrebbe dovuto essere un'elettrodinamica dei corpi in movimento.

L'inflessibile ottimismo di Einstein, la sua fiducia in se stesso, combinati con una sarcastica incuranza nei confronti della compiaciuta autorità scientifica, traspaiono da una miriade di lettere. Nel maggio 1901, confidava a Mileva che "sfortunatamente, nessuno qui al *Technikum* [l'ETH] è sufficientemente aggiornato sulla fisica odierna; li ho già sondati tutti senza successo. Diventerei anch'io così pigro se mai dovessi avere successo? Non credo, ma il pericolo sembra davvero grande".²⁰ O, il mese successivo, dopo aver scritto una critica dettagliata della concezione di Paul Drude (una delle figure di primo piano nella teoria della conduzione elettrica), comunicava sempre a Mileva: "Che cosa credi ci sia sul tavolo di fronte a me? Una lunga lettera indirizzata a Drude con due obiezioni alla sua teoria degli elettroni. Ben difficilmente potrà confutarle in modo sensato, perché le cose sono davvero semplici. Sono terribilmente curioso di sapere quando e cosa risponderà. Naturalmente, è inutile dirlo, gli farò anche sapere che sono senza lavoro". Se Einstein non voleva indietreggiare neanche di un centimetro su questioni di fisica, ancor meno intendeva modificare il proprio stile di vita in risposta alle occhiate di disapprovazione delle persone a lui più vicine o più care. Allorché alcuni amici sembrarono criticare il suo comportamento, respinse immediatamente il loro giudizio: "Pensa, i Winteler hanno inveito contro di me [...] e hanno detto che conduco una vita da debosciato a Zurigo".²¹

Sin dall'inizio del periodo trascorso *all'École*, Poincaré aveva stretto con i suoi insegnanti rapporti che sarebbero durati per tutta la vita. Ammirava i più anziani e, con devozione filiale, battezzava molte delle sue creazioni matematiche con il loro nome. Einstein, invece, appariva del tutto incurante delle critiche dei suoi vecchi professori, dei continui rifiuti che riceveva nella ricerca di un lavoro stabile, nonché della pungente disapprovazione della madre nei confronti di Mileva Marič. Così, quando Drude liquidò le sue obiezioni nel luglio del 1901, il giovane Albert non fece altro che relegarlo nella sua folla di giganti con i piedi d'argilla:

Non c'è alcuna esagerazione in quello che dici sui professori tedeschi. Ne ho conosciuto un altro triste esemplare - uno dei più eminenti fisici di Germania. A due pertinenti obiezioni che ho sollevato contro una delle sue teorie, e che dimostrano un errore nelle sue conclusioni, risponde puntualizzando che un altro suo (infallibile) collega condivide le sue opinioni. Gliene dirò presto quattro in una pubblicazione accademica. L'autorità che dà alla testa è la peggiore nemica della verità.²²

Einstein poteva anche “dirgliene quattro”; ma le “autorità” non avrebbero certo risposto al pungolo delle sue critiche con una pioggia di offerte di lavoro. Uno dopo l'altro, arrivarono i rifiuti, incluso quello per un posto di docente presso il dipartimento di meccanica tecnica del *Technikum* cantonale a Burgdorf.²³ Quando un amico, il matematico Marcel Grossmann, riuscì a procurarsi una posizione alla scuola cantonale di Frauenfeld, Einstein si congratulò di cuore, aggiungendo che la sicurezza e l'opportunità lavorativa offertagli sarebbero state certamente benvenute. Anche lui aveva provato a fare domanda. “L'ho fatto solo per non dover dire a me stesso che ero stato troppo codardo: dato che ero fermamente convinto di non avere alcuna prospettiva di ottenere tale incarico o uno simile.”²⁴

Una vera prospettiva di lavoro doveva infine arrivare. L'Ufficio brevetti di Berna aveva messo un annuncio per un posto vacante. Einstein scrisse direttamente: “Io, sottoscritto, mi permetto di fare domanda per il posto di ingegnere di II classe presso l'Ufficio federale per la proprietà intellettuale, che è stato bandito nella *Bundesblatt* [Gazzetta Federale] dell'11 dicembre 1901”.²⁵ Assicurando l'Ufficio brevetti di aver studiato fisica e ingegneria elettrica presso la Scuola per insegnanti specialisti di matematica e fisica dell'Era, dichiarò che l'intera documentazione era pronta. Il 19 dicembre 1901 poteva gioire con Mileva: “Ora ascoltami, lascia che ti baci e ti abbracci con gioia! [Friedrich] Haller [capo dell'Ufficio brevetti] mi ha scritto di persona una lettera dal tono amichevole in cui mi chiede di fare domanda per un posto che si è appena liberato all'Ufficio brevetti! Non ci sono più dubbi. [Il mio vecchio compagno di scuola all'ETH, Marcel] Grossmann si è già congratulato. Voglio dedicargli la mia tesi di dottorato, per esprimergli in qualche modo la mia gratitudine”.²⁶ Con un lavoro in mano, o quasi, Albert e Mileva potevano finalmente sposarsi.

Persino il suo atteggiamento verso il vecchio supervisore, Kleiner, si addolcì. Il 17 dicembre aveva detto a Mileva che avrebbe “voluto mettere le mani addosso [...] a quel rompiscatole di Kleiner”. Einstein aveva chiesto il permesso di lavorare durante le vacanze di Natale. “Pensare a tutti gli ostacoli che questi vecchi filistei pongono a una persona che non è della loro stessa specie, è davvero orribile! Questo tipo di persone istintivamente considera qualunque giovane intelligente come un pericolo potenziale per la loro fragile dignità, ecco l'idea che mi sono fatto. Ma se ha la sfacciataggine di respingere la mia tesi di dottorato, pubblicherò la sua relazione insieme alla tesi stessa, e lui farà la figura dell'imbecille. Se invece l'accetta, vedremo che posizione prende quel bel tipo di Drude [...] che mucchio di impostori sono tutti! Se Diogene visse oggi, con la sua lanterna cercherebbe invano una persona onesta.”²⁷

Due giorni dopo, la piccola lanterna di Diogene doveva spargere umanità con luce

più calda: “Oggi ho passato l’intero pomeriggio con Kleiner a Zurigo e ho parlato con lui di ogni genere di problemi di fisica. Non è così stupido come pensavo e, inoltre, è una brava persona”. È vero, Kleiner non aveva ancora letto la sua tesi, ma Einstein non ne era preoccupato. La sua attenzione era già altrove: “[Kleiner] mi ha consigliato di pubblicare le mie idee sulla teoria elettromagnetica della luce nei corpi in movimento insieme con il metodo sperimentale. È convinto che il metodo sperimentale da me proposto sia il più semplice e appropriato che si possa concepire”.²⁸

Incoraggiato dall’inaspettato sostegno, Einstein si dedicò ad approfondire le teorie dell’etere e del moto attraverso di esso. Decise di studiare Lorentz e Drude sull’elettrodinamica dei corpi in movimento (che non lo avesse ancora fatto è forse una misura della sua eterodossia) e prese in prestito un volume di fisica dall’amico Michele Besso. Nelle lezioni del 1899 Poincaré non si stancava mai di sottolineare quanto fossero preziosi gli approcci del passato alla fisica. Maxwell, Hertz, Lorentz e molti altri, meritavano tutti uno studio dettagliato perché, anche quando mancavano il bersaglio, catturavano sempre “relazioni vere” tra le quantità fisiche. Una pazienza del genere non era di Einstein. Un testo sulla teoria dell’etere lo colpì soltanto per quanto gli sembrava obsoleto, come scrisse a Mileva verso la fine del 1901: “Michele mi ha dato un libro sulla teoria dell’etere scritto nel 1885. Si direbbe che viene dall’antichità più remota, per quanto è obsoleto il suo contenuto. Questo ti fa rendere conto di come la conoscenza, di questi tempi, si sviluppi rapidamente”.²⁹ Poco prima, le aveva raccontato di aver riflettuto insieme con Besso sulla “definizione di quiete assoluta”.³⁰

Nelle prime settimane del 1902, Einstein si trasferì, con il suo modesto bagaglio di suppellettili, da Schaffhausen (dove aveva un posto temporaneo in una scuola privata) a Berna e, il 5 febbraio 1902, era di nuovo in cerca di studenti cui dare ripetizioni:

Lezioni private di
MATEMATICA E FISICA
per studenti universitari e non
impartite con la massima cura da
ALBERT EINSTEIN, in possesso del diploma
da insegnante rilasciato dal Politecnico Federale
GERECHTIGKEITSGASSE 32, 1° PIANO
Lezioni di prova gratuite.³¹

Qualche giorno dopo, le cose sembravano mettersi bene. L’avviso gli procurò due studenti; Einstein pensava di scrivere al grande esperto di meccanica statistica, Ludwig Boltzmann, e i suoi studi al di fuori dell’ambito ristretto della fisica procedevano rapidamente: “Ho quasi finito di leggere il libro di [Ernst] Mach con enorme interesse, e lo terminerò questa sera”.³²

Maurice Solovine, che era giunto dalla Romania per studiare all’Università di Berna, fu uno dei nuovi studenti, insieme con un altro amico di Einstein, Conrad Habicht, che stava facendo un dottorato in matematica. I tre fondarono l’“Akademie Olympia”, un club informale in cui discutevano di filosofia, o di qualunque altra cosa

suscitasse la loro curiosità. Nelle parole di Solovine: “Leggevamo una pagina, o mezza pagina -talvolta anche una sola frase - e, quando si trattava di un problema importante, la discussione andava avanti per parecchi giorni. Spesso incontravo Einstein a mezzogiorno, quando aveva appena lasciato la sua scrivania, e riprendevamo la discussione della sera precedente: ‘Tu hai detto..., ma non pensi che...?’ Oppure: ‘Vorrei aggiungere una cosa a quello che ho detto ieri...’”.³³

Mach era in agenda. Il filosofo, fisico e psicologo viennese aveva un atteggiamento critico implacabile verso ciò che non poteva essere reso accessibile ai sensi. Pur non condividendo mai del tutto l'enfasi di Mach sulle sensazioni, che considerava esagerata, Einstein trasse dai suoi scritti la clava critica da brandire contro le oziose chiacchiere metafisiche, come le nozioni di “tempo assoluto” e “spazio assoluto”.³⁴ Nel suo testo di Mach preferito (*La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, 1883) aveva potuto trovare una polemica contro lo spazio e il tempo assoluti di Newton che cominciava citando le parole del grande sir Isaac: “Il tempo *assoluto*, vero e *matematico*, in sé e per sua natura, senza riferimento ad alcuno oggetto esterno, scorre uniformemente [...]. Il tempo relativo, apparente e volgare è una misura sensibile ed esterna [del tempo assoluto]”. Per Mach, tali parole non rivelavano il Newton che si era proposto di attenersi al *fattuale*, bensì quello che era influenzato dalla filosofia medievale. A suo dire, il tempo non era qualcosa di primitivo rispetto cui misurare i fenomeni. All'opposto: il tempo stesso derivava dal moto delle cose - la rotazione della Terra, l'oscillazione del pendolo. Cercare l'assoluto dietro i fenomeni era impresa vana. Da qui la netta condanna di Mach: “Questo tempo assoluto non può essere commisurato con alcun moto, e perciò non ha alcun valore né pratico, né scientifico. Nessuno può pretendere di sapere alcunché su di esso. È dunque un inutile concetto ‘metafisico’”.³⁵

Negli anni che seguirono Einstein non mancò più volte di sottolineare l'importanza dell'analisi di Mach del concetto di tempo. Per esempio, in un articolo del 1916 in sua memoria, Einstein sosteneva: “Queste citazioni [da *La meccanica*] mostrano come Mach abbia riconosciuto chiaramente i punti deboli della meccanica classica, e fosse così giunto vicino a esprimere l'esigenza di una teoria generale della relatività - e questo quasi mezzo secolo fa! Non è improbabile che Mach sarebbe arrivato a formulare la teoria della relatività se nella sua epoca [...] i fisici fossero stati più interessati al significato della costanza della velocità della luce. In assenza di questo stimolo, che scaturisce dall'elettrodinamica di Maxwell-Lorentz, neppure le esortazioni critiche di Mach furono sufficienti a far sentire l'esigenza di una definizione della simultaneità per eventi distanti nello spazio”. Come per Poincaré, la simultaneità per Einstein si trovava all'incrocio di elettrodinamica e filosofia.³⁶

Alle riunioni dell’“Akademie Olympia” si discuteva anche di Karl Pearson, il matematico-fisico vittoriano noto per i suoi contributi alla statistica, alla filosofia e alla biologia. È interessante osservare come lo stesso Pearson, ispirandosi a Mach nonché alla tradizione filosofica tedesca, avesse posto la lettura ingenua del “tempo assoluto” sotto il microscopio della critica. Einstein e i suoi amici dell'Accademia potevano trovare nella sua *Grammar of Science* (1892) un'altra acuta disamina della relazione di tutti gli orologi osservabili al tempo assoluto di Newton: “[Le] ore segnate dall'orologio astronomico di Greenwich, e da tutti gli orologi che esso regola,

corrisponderanno alla rotazione della Terra attraverso angoli uguali sul suo asse". Il tempo segnato da tutti gli orologi è, in ultima analisi, il tempo astronomico. Ma molti fattori potrebbero modificare la rotazione del grande orologio-Terra - le maree, per esempio. "Il tempo assoluto, vero, matematico", come lo chiamava Newton, è qualcosa che usiamo per descrivere le nostre impressioni sensibili (una "cornice", per dirla con Pearson). "Ma nel mondo delle impressioni sensibili [gli intervalli assoluti di tempo] non hanno esistenza alcuna." Se guardiamo le stelle che attraversano le linee delle nostre equatoriali da una mezzanotte alla successiva, in due diverse occasioni, notiamo che la persona media registra più o meno la stessa sequenza di impressioni sensibili. Bene, dice Pearson, assegniamo a questi due intervalli di tempo, da una mezzanotte alla successiva, la designazione "uguali". Ma non dobbiamo prenderci in giro; ciò non ha nulla a che vedere con il tempo assoluto: "Gli spazi vuoti all'inizio e alla fine delle nostre registrazioni concettuali del tempo non sono affatto una giustificazione per rapsodie sull'eternità passata o futura del tempo, per rapsodie che, confondendo concetto e percelto, pretendono che queste eternità abbiano un significato reale nel mondo dei fenomeni, nel campo delle impressioni sensibili".³⁷

Oltre a Mach e a Pearson, nell'elenco delle letture dei membri dell'"Olympia" finì anche la *Critica dell'esperienza pura* di Richard Avenarius, che rivelava un atteggiamento scettico nei confronti di ciò che non era alla portata dell'esperienza. L'elenco comprendeva pure la *Logica* di John Stuart Mill, che invitava alla cautela verso "l'ipotesi prevalente di un etere luminoso"; l'acuta analisi di Dedekind del concetto di numero; e lo smantellamento dell'induzione operata da David Hume nel suo *Trattato sulla natura umana*.³⁸ Tra tutte queste opere che analizzavano le nozioni fondamentali della scienza a partire da un'indagine critica su ciò a cui la mente aveva accesso, solo a un libro Solovine riservò un commento speciale, un volume che era appena stato pubblicato in Germania nel 1904: "[...] *La scienza e l'ipotesi* di Poincaré ci fece una profonda impressione e ci tenne col fiato sospeso per settimane".³⁹ Einstein e gli altri dell'"Akademie Olympia" poterono trovare in quell'opera un forte sostegno alle concezioni di Mach e di Pearson. In essa Poincaré faceva riferimento anche all'importante articolo del 1898.

Può darsi che Einstein e i suoi amici si siano precipitati a procurarsi "La misura del tempo" nella versione originale (pubblicata in una rivista francese di filosofia). Anche se ciò appare improbabile. Tuttavia, c'è un punto che merita attenzione. Diversamente dalla traduzione in inglese o dall'originale francese, gli editori tedeschi de *La scienza e l'ipotesi* non si limitarono a tradurre il testo, ma inclusero in nota un ampio estratto della conclusione dell'articolo del 1898. Così, nel 1904, direttamente in tedesco, l'"Akademie Olympia" avrebbe potuto avere davanti agli occhi l'esplicito rifiuto da parte di Poincaré di qualsiasi "intuizione diretta" della simultaneità, la sua insistenza sul fatto che le regole che la definiscono sono scelte in base alla loro comodità, non in base alla verità, e il suo pronunciamento finale: "Tutte queste regole e definizioni non sono che il frutto di un opportunismo inconscio". In realtà, i traduttori erano andati oltre, includendo riferimenti alla lunga schiera di filosofi, fisici e matematici che avevano dato il benservito al tempo assoluto in favore di quello relativo, a partire da Locke e da d'Alembert per arrivare a uno dei creatori della geometria non euclidea, Lobačevskij, con la sua affermazione che il tempo non era

nient'altro che "un moto designato a misurare altri moti". Un orologio a pendolo, a molla, la rotazione della Terra: i traduttori tedeschi di Poincaré insistevano che toccava a noi scegliere quale moto usare come l'unità di misura che avrebbe definito il tempo " t della fisica. Ma tale scelta non aveva nulla a che fare con il tempo assoluto. Anzi, essa rafforzava ancora una volta l'argomento di Poincaré a favore dell'opportunismo" nella definizione fisica della simultaneità e della durata.⁴⁰

Sarebbe un errore pensare che i dettagli più sottili del pensiero di uno qualsiasi di questi filosofi si siano trasferiti *in toto* nell'opera di Einstein; ma è fuori di dubbio che dai primi anni di Berna egli maturò una potente consapevolezza della distinzione tra ciò che è accessibile alla nostra esperienza e ciò che è, per così dire, inaccessibilmente nascosto dietro la cortina del percepibile. L'enfasi su ciò che è conoscibile, specie su ciò che del mondo naturale può essere afferrato dai nostri sensi, costituiva la chiave di volta del positivismo di Auguste Comte, e di molti che lo seguirono. Come scriverà lo stesso Einstein a Moritz Schlick nel 1917: "La vostra interpretazione secondo cui la teoria della relatività è suggerita dal positivismo, senza tuttavia richiederlo, mi sembra [...] del tutto appropriata. Avete anche riconosciuto, correttamente, la grande influenza che ha avuto sulle mie ricerche questa corrente di pensiero, più specificamente Ernst Mach e, ancora di più, Hume, il cui *Trattato sulla natura umana* avevo studiato avidamente e con ammirazione poco prima di scoprire la teoria della relatività. È davvero possibile che senza questi studi filosofici non sarei mai arrivato alla soluzione del problema".⁴¹

La filosofia ebbe, dunque, la sua importanza. Tutt'altro che estranee allo *Zeitgeist* culturale, la difesa da parte di Einstein di una nozione procedurale di simultaneità e la sua avversione per il tempo assoluto, metafisico, erano in piena sintonia con le mosse compiute da Mach, Pearson, Mill e Poincaré nel tentativo di sfoltire le basi della conoscenza fisica. Il giovane Albert e il suo piccolo circolo studiarono a fondo le opere di questi autori alla ricerca di spunti di discussione.

I primi importanti articoli di fisica di Einstein (1902-1904) riguardarono la termodinamica e la sottostante interpretazione del calore come prodotto del moto molecolare (meccanica statistica). Tra le escursioni in filosofia, l'immersione nella termodinamica all'ETH e le successive ricerche indipendenti, Einstein cominciò a elaborare un approccio alla fisica che enfatizzava i principi e si asteneva dalla costruzione di modelli dettagliati. Come è noto, la termodinamica poteva essere ricondotta a due asserzioni sui sistemi isolati facili da formulare, e tuttavia di grande profondità: la quantità di energia resta sempre la stessa, l'entropia (il disordine di un sistema) non decresce mai. La semplicità e l'ampia portata di tale teoria rappresentarono per Einstein, lungo tutta la sua carriera, un ideale di scienza. *La scienza e l'ipotesi* di Poincaré gli avrebbe potuto fornire un'energica esposizione dell'idea per cui la fisica non ha che da occuparsi dell'analisi di tali principi.

Tuttavia, i termini "convenzione" e "principio" non avevano per Einstein (nonché per molti fisici tedeschi dell'epoca) lo stesso senso che avevano per Poincaré. In francese, il triplice significato della parola *convention* (accordo legale, accordo scientifico, *Convention* dell'Anno II) era vividamente presente per Poincaré e per la cerchia di suoi colleghi interessati alla Convenzione del Metro o alla *convention* proposta per decimalizzare il tempo. La traduzione del testo in tedesco infranse questa

particolare catena di associazioni. Anzi, i traduttori de *La scienza e l'ipotesi* resero *convention* in due modi diversi, scegliendo talvolta un sostantivo che implicava un accordo legale (*Übereinkommen*), talaltra una locuzione che indicava un accordo sociale convenzionale (*konventionelle Festsetzung*).⁴² Cosa più importante, cercheremmo invano nelle opere di Einstein un'insistenza *a là* Poincaré sul fatto che i principi siano definizioni, sopravvissute soltanto in virtù della loro “comodità”. Per Einstein i principi costituivano la base della fisica e, specie negli anni della maturità, sembravano valere anche al di fuori dalla scienza. In un contesto diverso, egli osservava:

Il mio interesse per la scienza era sempre essenzialmente limitato allo studio dei principi, è ciò spiega nel modo migliore l'intera mia condotta. Il fatto che io abbia pubblicato così poco si può attribuire alla stessa circostanza, poiché il bruciante desiderio di impadronirmi dei principi ha fatto sì che impiegassi la maggior parte del tempo in sforzi infruttuosi.⁴³

Se la fisica dei principi era importante, altrettanto lo era per Einstein la riflessione critico-filosofica che riconduceva i concetti fisici ai loro elementi di base. Ma vi era anche dell'altro. Negli anni di Berna, l'opera e il pensiero einsteiniani furono saturati dai principi materializzati delle *macchine*. Sin dall'inizio, Einstein considerò l'Ufficio brevetti non un ostacolo al suo “vero” lavoro, bensì un'attività piacevolmente produttiva. A metà del febbraio 1902 raccontò di essersi imbattuto in un ex studente dell'ETH che ora lavorava in quell'ufficio: “Ritiene che lì sia tutto molto noioso - certe persone trovano tutto noioso - sono sicuro che io mi divertirò e che sarò grato a Haller per il resto della vita”. In seguito, dichiarerà: “Lavorare alla formulazione finale dei brevetti tecnologici era per me una vera benedizione. Rafforzava la multilateralità del mio modo di pensare e mi forniva anche importanti stimoli per la riflessione fisica”.⁴⁴

Ma che ne è del tempo? Nel 1902 Lorentz aveva già una lunga esperienza delle fittizie variazioni matematiche necessarie alla definizione della variabile temporale t per un oggetto in moto attraverso l'etere. Grazie all'ulteriore elaborazione di Poincaré e di altri, la nozione di un etere fisso aveva guadagnato terreno. Per quello che ne sappiamo, Poincaré (ignorando l'etere prima del tutto e poi per sistemi esplicitamente in moto attraverso di esso) aveva *interpretato* la simultaneità mediante orologi coordinati da segnali luminosi. Pur cambiando opinione sull'etere, egli non dubitò mai del suo enorme valore quale strumento concettuale e quale condizione per l'applicazione dell'intuizione produttiva. *Non* identificò *mai* il “tempo apparente” (il tempo misurato in un sistema di riferimento in moto) con il “tempo assoluto” (il tempo misurato in quiete nell'etere).⁴⁵

Poincaré, Lorentz e Abraham erano determinati a *cominciare* le loro teorizzazioni con un'analisi della dinamica, delle forze che tenevano insieme, appiattivano e univano gli elettroni che solcavano l'etere. Certe forze contraevano i bracci dell'interferometro di Michelson e Morley; altre impedivano alla carica negativa di un elettrone di far esplodere questa particella carica mandandola in briciole. Da tali teorie *costruttive* della materia volevano dedurre la *cinematica* - il comportamento della materia ordinaria in assenza di forze esterne.

L'obiettivo di Einstein era completamente differente: l'analisi del tempo non cominciava con la dinamica. A metà del 1905, avanzò una nuova interpretazione del tempo e dello spazio che faceva iniziare la fisica dei corpi in movimento con principi fisici semplici, proprio come la termodinamica cominciava con la conservazione dell'energia e con il divieto di una diminuzione dell'entropia. Lorentz era disposto a postulare una nozione artificiale di tempo (t_{locale}) per l'utilità che essa aveva nel calcolare le soluzioni delle sue equazioni. Poincaré intravide le conseguenze fisiche del "tempo locale" per sistemi di riferimento in moto costante. Prima di Einstein, tuttavia, né Poincaré, né Lorentz avevano considerato la coordinazione degli orologi come il passo cruciale che avrebbe riconciliato alcuni dei grandi principi della fisica. Nessuno dei due si aspettava che la riqualificazione del tempo avrebbe posto fine alle loro concezioni dell'etere, degli elettroni e dei corpi in movimento. Né che la stessa contrazione di Lorentz sarebbe stata vista come una mera conseguenza di una ridefinizione del tempo. Dal canto suo, prima del maggio 1905, Einstein riconobbe il proprio debito solo nei confronti dei tratti essenziali della teoria di Lorentz del 1895, non facendo alcun cenno ai lavori sull'elettrodinamica di Poincaré. Di contro, leggeva testi filosofici sui fondamenti della scienza (inclusi quelli di Poincaré), scriveva sulla teoria statistico-molecolare del calore ed esplorava l'elettrodinamica dei corpi in movimento. Prima di mettere piede all'Ufficio brevetti, non vi era in lui la ben che minima traccia di un interesse per orologi, tempo o simultaneità.

VERITÀ BREVETTATE

Così stavano le cose per Einstein quando arrivò nel giugno 1902 all'Ufficio brevetti di Berna.⁴⁶ Esso rappresentava (e non solo per lui) un posto di lavoro, ma anche un centro di addestramento - una rigorosa scuola per macchine pensanti. A guidare l'Ufficio, negli anni in cui vi lavorò Einstein, vi era Friedrich Haller, un capo piuttosto severo con i suoi sottoposti, che esortava il suo giovane ispettore a essere assai critico in ogni stadio della valutazione dei progetti: "Quando prendi in mano una richiesta, pensa che qualunque cosa dica quell'inventore sia sbagliata". Soprattutto, lo ammoniva, evita di cedere alla credulità: sarai tentato di condividere "il modo di pensare dell'inventore, e ciò pregiudicherà il tuo lavoro. Devi rimanere sempre criticamente vigile".⁴⁷ Per Einstein, che quando considerava un'autorità arbitraria era già alquanto incline a trattarla come obsoleta, ottusa e pigra, l'invito a indulgere nello scetticismo dovette suonare gratificante. La sua tendenza a controllare severamente le assunzioni compiacenti su cui si basava l'uso dei vari dispositivi riecheggiava un atteggiamento analogamente iconoclasta nel regno meno tangibile della fisica. Infatti, nell'elettrodinamica dei corpi in movimento Einstein aveva scelto un problema che lo aveva periodicamente sfidato per circa sette anni e che stava preoccupando sempre più i principali fisici dell'epoca.

Nel 1902, i suoi studi sull'elettrodinamica non includevano un'indagine sulla natura del tempo. Ma egli era letteralmente circondato dal fascino crescente esercitato dalla simultaneità coordinata elettricamente. Ogni giorno, quando usciva di casa, girava a

sinistra e si dirigeva verso l'Ufficio brevetti - un posto che, come disse a un amico, "mi piace [...] molto perché il lavoro è molto diversificato e richiede un grande esercizio del pensiero".⁴⁸ E ogni volta doveva passare davanti alle grandi torri dell'orologio che presidiavano Berna, con le loro ore coordinate, nonché incontrare la miriade di orologi da strada elettrici che erano stati di recente, e con orgoglio, collegati all'ufficio telegrafico centrale. Andando a piedi da casa sua, nella Kramgasse, all'ufficio, doveva inoltre transitare sotto uno dei più famosi orologi della città. (Si vedano le figure 5.3 e 5.4.)



Figura 5.3 Torre dell'orologio coordinato: Kramgasse. Quando usciva dal suo appartamento di Kramgasse e girava a sinistra verso l'Ufficio brevetti di Berna, Einstein vedeva uno dei grandi (e, nel 1905, ormai coordinati) orologi della città. *Fonte:* Bürgerbibliothek di Berna, NEG. 10379.

Per molti versi, Friedrich Haller fu per Einstein all'Ufficio brevetti un insegnante come lo erano stati Weber o Kleiner all'ETH. Sotto la sua egida, l'Ufficio fu davvero una scuola di nuove tecnologie, in cui si cercava di insegnare un metodo disciplinato e alquanto specifico per smontare i progetti tecnologici proposti. In un primo tempo Haller rimproverò Einstein: "Come fisico non capisci niente di disegno. Devi imparare a leggere i disegni e le specifiche tecniche prima che io possa rendere permanente il tuo incarico".⁴⁹ Nel settembre 1903 Albert sembrava essersi impadronito del linguaggio visivo del mondo dei brevetti; fu informato che il suo incarico era stato reso permanente. Tuttavia, Haller non era ancora disposto a promuoverlo, ritenendo che egli avrebbe dovuto "attendere finché non si fosse pienamente impadronito della tecnologia meccanica; dopo tutto ha studiato fisica". La padronanza arrivò non appena Einstein si immerse nell'esame della schiera di brevetti che gli capitavano di fronte. Presto poté riferire a Mileva che "le cose con Haller vanno molto meglio di prima [...] quando un agente ha protestato contro i miei rilievi, citando persino una decisione dall'Ufficio brevetti tedesco a sostegno del suo reclamo, [Haller] ha preso le mie parti su ogni punto".⁵⁰ Dopo tre anni e mezzo al banco dei brevetti, Einstein convinse le autorità che, nonostante la sua formazione fisica, aveva appreso un nuovo modo di guardare, attraverso grafi e specifiche, al

cuore dell'innovazione tecnologica. Nell'aprile 1906, Haller lo promosse a tecnico di seconda classe, giudicandolo "uno tra gli esperti più stimati dell'ufficio"⁵¹ - un ufficio in cui le richieste di brevetti sul tempo elettrico ingrossavano sempre di più il numero delle pratiche da assolvere.

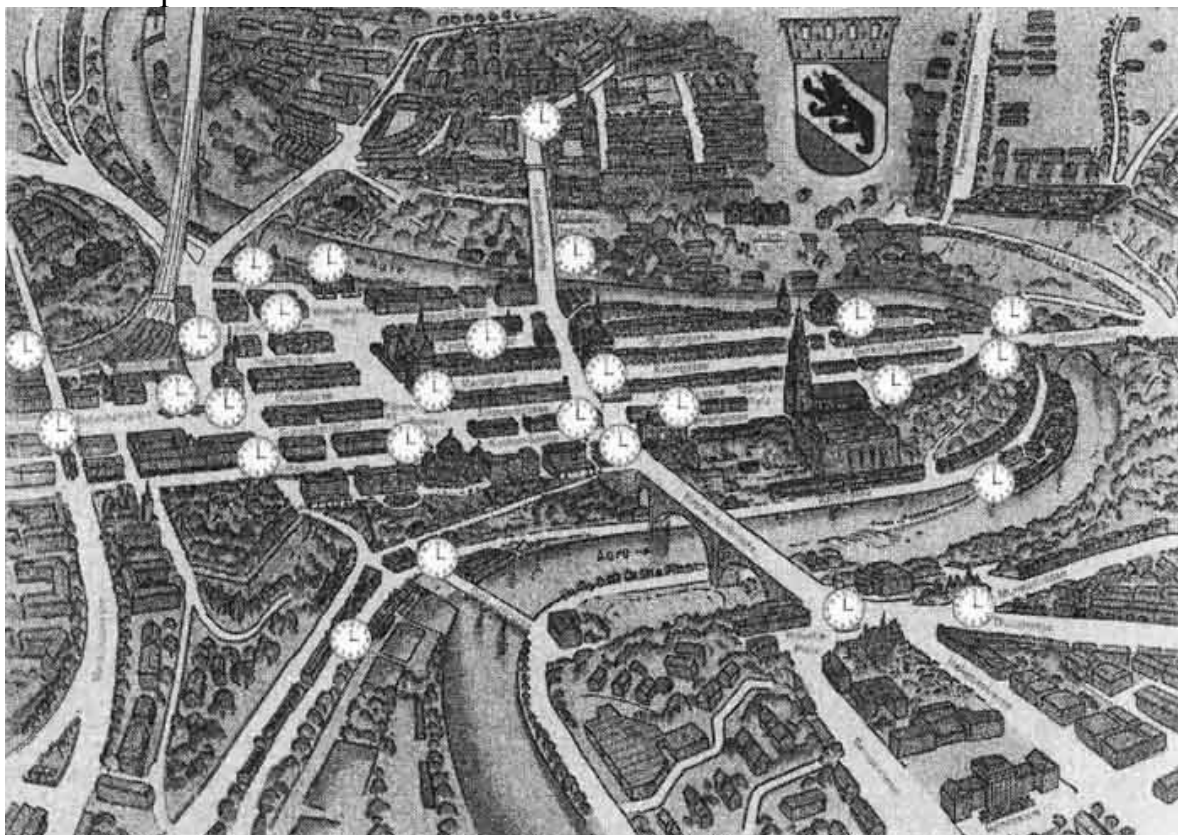


Figura 5.4 Rete degli orologi elettrici di Berna (1905 circa). Gli orologi elettrici coordinati avevano una notevole importanza culturale ed erano motivo di orgoglio nazionale. Nel 1905 rappresentavano una parte eminente del paesaggio urbano moderno in tutta la città di Berna. *Fonte:* Mappa della città di Berna dalla Harvard Map Collection; collocazione degli orologi illustrata usando dati da Messerli, *Gleichmässigkeit* (1995).

Le tecnologie del tempo producevano brevetti in ogni settore della rete: per generatori a basso voltaggio, per ricevitori elettromagnetici con i loro scappamenti e le loro armature, per interruttori a contatto. Un esempio piuttosto tipico dell'attività elettrocronometrica che fiorì nel primo decennio del Novecento fu il nuovo ricevitore del colonnello David Perret che era in grado di rilevare e usare un segnale cronometrico a corrente continua per guidare un'armatura oscillante. Il 12 marzo 1904 gli venne assegnato il brevetto svizzero numero 30.351. Il ricevitore di Favarger faceva l'opposto: prendeva una corrente alternata dall'orologio madre e la convertiva nel movimento unidirezionale di una ruota dentata. La richiesta per questo brevetto - destinato poi a largo uso - fu timbrata "ricevuta" il 25 novembre 1902, ma il brevetto venne emesso solo il 2 maggio 1905, dopo un lungo, ma non del tutto inusuale, periodo di valutazione. Vi erano brevetti per sistemi che consentivano agli orologi di attivare allarmi remoti, mentre altre richieste riguardavano la regolazione elettromagnetica a distanza dei pendoli. Vi erano proposte per far viaggiare il tempo lungo le linee telefoniche - e persino sistemi per trasmettere segnali orari senza fili. Altri brevetti presentavano progetti per monitorare partenze e arrivi dei treni o indicare l'ora in diversi fusi orari. Altri ancora specificavano come orologi elettrici

azionati a distanza potessero essere protetti dall'elettricità dell'atmosfera o come i segnali orari magnetici potessero essere ricevuti silenziosamente. Una vera e propria cascata di tempo coordinato.

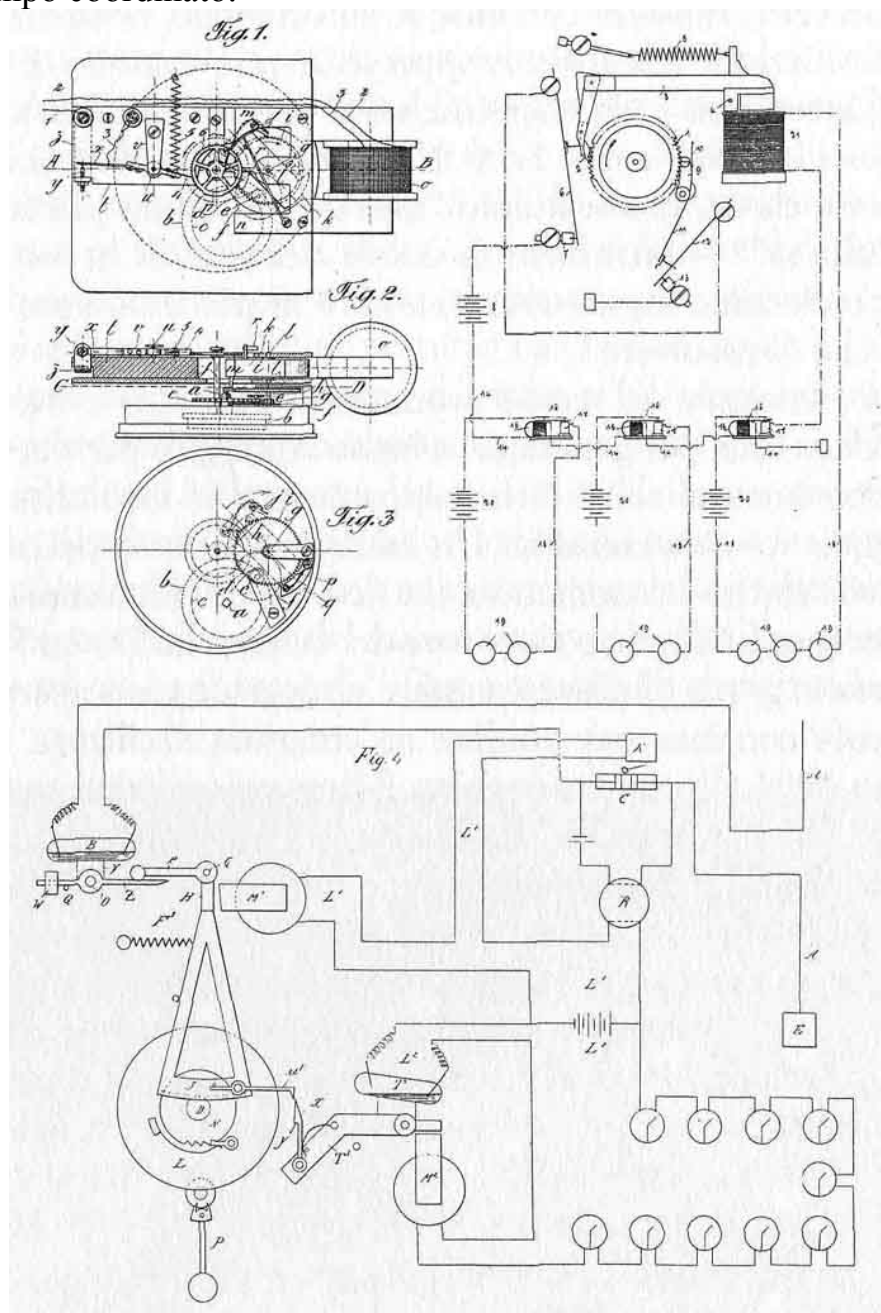


Figura 5,5 Brevettare il tempo coordinato. I brevetti sulla coordinazione elettromagnetica del tempo ebbero un'impennata nel 1905. Qui ne illustriamo solo alcuni: Il brevetto svizzero 33.700 (in alto a sinistra) descrive un meccanismo per la regolazione elettrica di orologi distanti (12 maggio 1905). Il brevetto svizzero 29.832 (1903), in alto a destra, illustra un progetto per la trasmissione elettrica del tempo. Gli orologi distanti che dovevano essere controllati sono visibili in fondo allo schema. Il brevetto svizzero 37.912 (1906), in basso, rappresenta una delle applicazioni mai approvate dedicate interamente alla trasmissione radio del tempo. Questi schemi risalgono per lo più ai primi giorni dell'era della radio ed erano ampiamente discussi nel 1905. Fonte: 33.700 (James Besançon e Jacob Steiger); 29.832 (Colonnello David Perret); e 37.912 (Max Reithoffer e Franz Morawetz).

Alcuni di questi brevetti affrontavano in maniera sistematica il problema della distribuzione della simultaneità. Il brevetto di Perret numero 27.555, arrivato alle 5.30 del pomeriggio il 7 novembre 1902 (ma rilasciato nel 1903), riguardava

un'“installazione elettrica per la trasmissione del tempo”; Perret avanzò un'altra proposta simile nel 1904. Il signor L. Agostinelli da Terni (brevetto 29.073, rilasciato nel 1904) propose un “installazione con orologio centrale per indicare la simultaneità temporale in luoghi distanti l'uno dall'altro, e con segnali acustici per chiamare a orari predeterminati”. Vi erano richieste di brevetti da parte di enormi concentrazioni industriali come la Siemens (“relè per orologi madre”, numero 29.980, rilasciato nel 1904), che produceva gli orologi regolati a distanza che abbellivano l'edificio del Parlamento federale a Berna. Un bulgaro ottenne un brevetto, all'inizio del 1904, per un sistema costituito da un orologio madre e dai suoi orologi elettrici secondari. A Berna, le richieste si accumulavano a dozzine.⁵² Da New York, Stoccolma, Londra e Parigi gli inventori spedivano i loro sogni sul tempo all'Ufficio brevetti, ma era l'industria orologiera svizzera a dominare il campo.

Nel periodo in cui Einstein lavorò come ispettore, l'interesse per i sistemi di orologi controllati elettricamente si accrebbe. Dal 1890 al 1900 vi furono tre o quattro richieste di brevetti ogni anno (con le eccezioni di due nel 1890 e sei nel 1891). Mentre la trasmissione elettrica del tempo si sviluppava insieme con il sistema telegrafico, gli orologi coordinati cominciarono a giocare un ruolo sempre maggiore sia nei siti pubblici sia in quelli privati. Ecco i numeri: 1901, otto brevetti; 1902, dieci; 1903, sei e poi, nel 1904 (il picco nel periodo 1899-1910), ben quattordici brevetti di orologi elettrici superarono gli ostacoli dell'Ufficio. Numerosi altri, senza dubbio, persero il loro posto nella storia sotto lo sguardo critico di Einstein e dei suoi colleghi.⁵³

Tutte le invenzioni cronometriche svizzere - insieme a molte altre a esse collegate - dovevano passare per l'Ufficio brevetti di Berna e non c'è dubbio che molte di esse finirono sulla scrivania di Einstein.⁵⁴ Quando cominciò come tecnico di terza classe, fu incaricato della valutazione di brevetti elettromagnetici ed elettromeccanici.⁵⁵ Sul suo tavolo di legno, insieme a circa dodici altri tecnici, Einstein esaminava minuziosamente ogni richiesta per individuarne i principi sottostanti.⁵⁶

La sua competenza tecnica nei dispositivi elettromeccanici aveva origine in parte negli affari di famiglia. Il padre Hermann e lo zio Jakob avevano costruito la loro impresa su un brevetto (di Jakob) che riguardava dispositivi elettrici sensibili, simili a orologi, deputati a misurare il consumo di elettricità. Uno di questi contatori elettrici della Einstein & Co. occupava un posto di primo piano nel catalogo della Mostra elettrotecnica di Francoforte del 1891, a poche pagine di distanza da un meccanismo (tipico del periodo) di installazione di un orologio madre di controllo, in grado di assicurare la continua operatività di un sistema di orologi elettrici. I sistemi di misurazione elettrici erano così vicini alla tecnologia degli orologi elettrici che almeno uno dei brevetti di Jakob Einstein e Sebastian Kornprobst ne suggeriva esplicitamente l'applicabilità a meccanismi di misurazione del tempo. Di contro, numerose richieste proponevano dispositivi che si applicavano tanto ai sistemi di misurazione dell'elettricità quanto agli orologi elettrici.⁵⁷

Negli anni trascorsi all'Ufficio brevetti (dal giugno 1902 fino all'ottobre 1909) Einstein era circondato da macchine di ogni tipo. Purtroppo, solo pochi dei suoi pareri tecnici sono sopravvissuti alla distruzione automatica compiuta dalla burocrazia dopo che le pratiche dei brevetti erano finite in tribunale. In uno di questi

(1907), Einstein prese di mira il progetto di una dinamo avanzata da una delle più potenti compagnie elettriche del mondo, la Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG): “1. La tesi del brevetto è scorretta ed è stata preparata in modo poco chiaro e poco preciso. 2. Possiamo addentrarci nei difetti specifici della descrizione solo dopo che l’oggetto del brevetto sia stato esposto chiaramente da una tesi preparata adeguatamente”.⁵⁸ Descrizione, rappresentazione, tesi: erano questi gli elementi costitutivi di qualsiasi brevetto; pretendere la loro rigorosa esecuzione era l’istruzione specifica che Einstein aveva ricevuto da Haller.



Figura 5.6 Jakob Einstein & Co. Lo zio e il padre di Einstein gestivano una compagnia elettrotecnica che produceva, tra l’altro, attrezzature per misurazioni elettriche di precisione la cui tecnologia era molto simile a quella degli orologi elettrici.

Un altro dei pareri che ci sono rimasti riguardava una causa per violazione di brevetto tra una ditta tedesca, la Anschütz-Kaempfe, e una compagnia americana, la Sperry. Nel secondo decennio del Novecento vi era una feroce competizione per la costruzione di bussole giroscopiche. Le navi di metallo, di recente elettrificate, erano un ambiente terribile per le bussole magnetiche. Ma nella corsa per equipaggiare imbarcazioni e aeroplani, la Anschütz-Kaempfe sospettò che gli americani le avessero rubato l’invenzione. Hermann Anschütz-Kaempfe (il fondatore) si rivolse a Einstein, che diede poco credito alla tesi americana secondo cui dietro le “nuove invenzioni” vi era un brevetto del 1885. Osservando che tale brevetto descriveva un giroscopio che non poteva muoversi liberamente in tutte e tre le direzioni, Einstein liquidò gli americani facendo rilevare che la macchina più vecchia non era assolutamente in grado di funzionare accuratamente nel rollio e beccheggio di un’imbarcazione in mare. Anschütz-Kaempfe vinse la causa. Einstein divenne un tale esperto di bussole giroscopiche che fu in grado di contribuire in modo decisivo (1926) a uno dei principali brevetti della Anschütz-Kaempfe, per il quale ricevette le royalties finché la ditta distributrice non venne liquidata nel 1938. E significativo che nel 1915 la bussola giroscopica servì esplicitamente da modello della teoria einsteiniana dell’atomo magnetico. Il dialogo tra macchine e teoria catturò a tal punto la sua attenzione che Einstein mise temporaneamente da parte le ricerche sulla relatività

generale per eseguire, in collaborazione con altri, una serie di esperimenti - estremamente delicati - volti a mostrare che l'atomo di ferro funzionava effettivamente come una bussola giroscopica sub-microscopica.⁵⁹ La tecnologia dei brevetti e la comprensione teorica erano più vicine di quanto potessero sembrare.

Pochi anni dopo Einstein disse esplicitamente che era solito leggere e scrivere come se stesse analizzando un brevetto, anche quando si occupava di argomenti molto lontani dalle dinamo o dalle bussole giroscopiche. Nel luglio 1917 un suo vecchio amico, l'anatomista e fisiologo Heinrich Zangger, gli chiese un parere a proposito di un testo che stava ultimando su medicina, leggi e causalità. Einstein rispose che aveva apprezzato i "casi concreti", ma "non alcune delle parti astratte; mi sembrano sovente inutilmente oscure (troppo generali) e non sono espresse in modo sufficientemente chiaro ed esplicito (non tutte le parole sono usate chiaramente e in modo consapevole). Ciò nonostante, ho capito tutto; può anche darsi che le mie manie e le convenzioni dell'Ufficio brevetti mi abbiano indotto ad adottare standard esageratamente alti al riguardo".⁶⁰

L'attrazione per le macchine e le convenzioni dell'Ufficio brevetti andava ben al di là delle ore di lavoro. Nell'incessante corrispondenza con l'amico Conrad Habicht (dell'"Akademie Olympia") con il fratello Paul (un apprendista tecnico di macchine), Einstein scambiava idee su relè, pompe da vuoto, elettrometri, voltometri, registratori di corrente alternata e interruttori di circuiti. Paul, in particolare, sfornava un progetto dopo l'altro, a volte scrivendo ad Albert ogni due giorni. In un'occasione, dopo aver mandato al fratello una lettera dettagliata in cui esponeva la proposta di una macchina volante (un congegno simile a un elicottero), Paul gli chiese esplicitamente consiglio: "Dovrei chiedere il brevetto immediatamente? O pubblicarlo senza brevetto? O avviare contrattazioni prima di chiedere il brevetto?"⁶¹

Anche Einstein andava in cerca di brevetti. Una delle sue numerose idee riguardava un elettrometro sensibile in grado di misurare differenze di voltaggio estremamente piccole. Tale macchinetta (*Maschinchen*) lo affascinava in tutti i suoi aspetti, da quelli teorici a quelli più concreti relativi alla sua costruzione.⁶² Scrisse a uno dei suoi collaboratori del gasolio che sarebbe stato necessario per pulire le parti in ebanite (gomma vulcanizzata) e quello che si doveva fare per assicurarsi che i fili finissero proprio nelle nervature di mercurio del disco di ebanite. "So già dai miei esperimenti", aggiunse, "che la cosa si può fare con i contatti in mercurio. Solo che a volte ci vuole molto tempo per far funzionare l'apparecchio, e il mercurio sprizza fuori non appena si gira un po' più velocemente."⁶³

L'interesse per gli strumenti, insieme con gli esperimenti su macchine reali e immaginarie, rapivano l'attenzione di Einstein. Quando scriveva agli amici era in grado di passare, senza perdere un colpo, da un registro rarefatto e teorico a uno pratico e tecnologico. In una lettera del 1907, mentre raccontava a Conrad Habicht di un articolo che stava scrivendo sul principio di relatività e di alcune sue ricerche sul perielio di Mercurio, tornò nel giro di una frase all'amata *Maschinchen*. Circa un anno dopo disse all'amico e collaboratore Jakob Laub che "per provare [la *Maschinchen*] su volt[aggi] inferiori a 1/10 di volt, ho costruito un elettrometro e una batteria a basso potenziale. Non potresti fare a meno di sorridere se vedessi il magnifico dispositivo che ho messo insieme".⁶⁴ Gli sforzi dedicati alla *Maschinchen* e

i lavori successivi sulla bussola giroscopica e sull'effetto Einstein-de Haas non sono che pochi esempi del suo particolare interesse per i dispositivi sensibili che creavano un ponte tra il mondo dell'elettricità e quello della meccanica. Le proposte per la coordinazione elettromagnetica degli orologi erano perfettamente in linea con tale interesse - offrivano modi per trasformare piccole correnti elettriche in movimenti rotatori di alta precisione.

I brevetti sulla coordinazione del tempo continuarono ad ammassarsi nel suo ufficio. Il 25 aprile 1905 alle 6.15 p.m., per esempio, venne registrato l'arrivo di una richiesta di brevetto per un pendolo controllato elettromagneticamente che era in grado di ricevere un segnale e impiegarlo per regolare un pendolo a distanza.⁶⁵ Tutte le invenzioni dovevano essere accompagnate dall'opportuna documentazione, che comprendeva anche modelli, disegni tecnici e descrizioni appropriate. La loro valutazione richiedeva estrema accuratezza e spesso durava parecchi mesi.

Intorno alla metà del maggio 1905 (si noti che Einstein lasciò la zona a orario unificato di Berna il 15 maggio) aveva esaminato con il suo più caro amico, Michele Besso, il problema dell'elettromagnetismo da ogni angolatura possibile. "Poi", ricorderà in seguito Einstein, "improvvisamente capii quale era la chiave del problema." L'indomani, quando incontrò Besso, gli disse subito senza neppure salutarlo: "Grazie. Ho completamente risolto il problema. Un'analisi del concetto di tempo mi ha fornito la soluzione. Il tempo non può essere definito in maniera assoluta, e vi è una relazione inseparabile tra il tempo e la velocità del segnale".⁶⁶ Puntando il dito verso la torre dell'orologio di Berna - uno dei famosi orologi sincronizzati della città - e poi verso la sola e unica torre dell'orologio nei pressi di Muri (il tradizionale sobborgo aristocratico di Berna che non si era ancora allineato alla *Normaluhr* della città), Einstein illustrò all'amico la sua procedura di sincronizzazione degli orologi.⁶⁷

Pochi giorni dopo scrisse a Conrad Habicht implorandolo di mandargli una copia della sua dissertazione e promettendo quattro nuovi articoli in cambio. "Il quarto articolo è al momento solo un abbozzo molto primitivo ed è un'elettrodinamica dei corpi in movimento che impiega una modificazione della teoria dello spazio e del tempo; la parte puramente cinematica di questo articolo [che comincia con una nuova definizione della sincronizzazione del tempo] ti interesserà certamente."⁶⁸ Dieci anni di riflessioni sulla fisica dei corpi in movimento, sulla luce, sull'etere e sulla filosofia, erano culminati in questo breve testo.

Ovviamente, la sincronizzazione del tempo mediante lo scambio di segnali elettromagnetici non esauriva la relatività speciale, ma costituiva il passo cruciale nello sviluppo della teoria da parte di Einstein. Gli orologi coordinati non entravano nel suo ragionamento come un'interpretazione fisica del fittizio "tempo locale" di Lorentz, come era stato invece per Poincaré. Affatto. Einstein cominciava l'argomentazione determinando la posizione di un punto relativamente a regoli di misurazione rigidi (un luogo comune), ma introduceva poi la nuova *definizione* di simultaneità: "Per descrivere il *moto* di un punto materiale si danno i valori delle sue coordinate in funzione del tempo. Si tenga presente che una tale descrizione matematica non ha significato fisico se prima non si è chiarito cosa si intende per 'tempo'". Senza il riferimento a un etere in quiete su cui identificare il tempo reale,

i sistemi di orologi di qualsiasi sistema di riferimento inerziale erano equivalenti, nel senso che il tempo di un sistema era altrettanto “reale” di quello di qualunque altro.

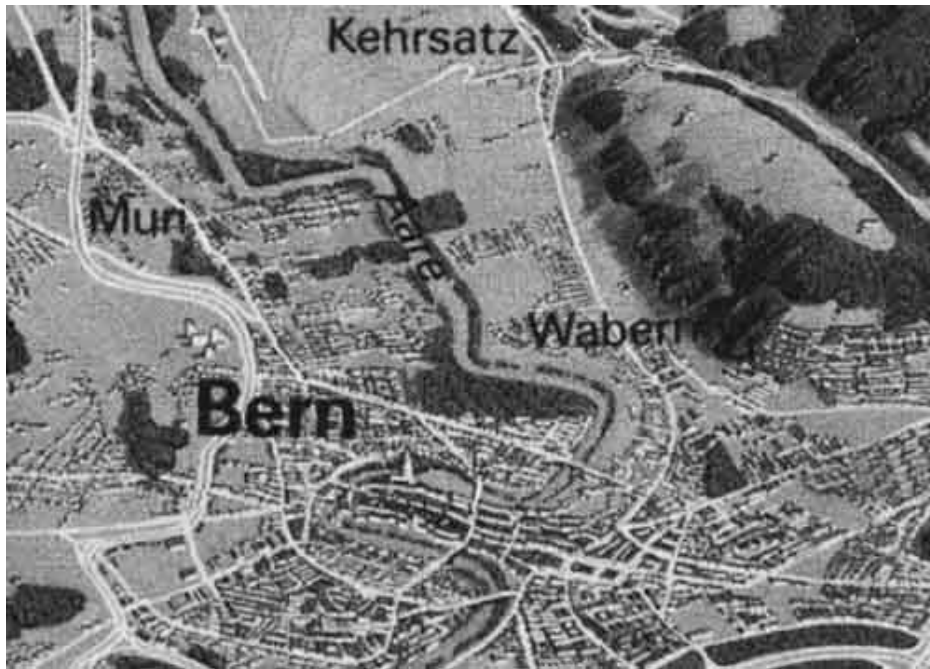


Figura 5.7 La mappa di Berna e Muri, Michele Besso ricordava che quando Einstein gli raccontò eccitato di essersi reso conto che il tempo doveva essere definito mediante uno scambio di segnali, indicò una delle torri dell’orologio della vecchia Berna e un’altra (l’unica) della vicina città di Muri. Poiché è il solo punto di vista da cui sono visibili entrambe, Besso ed Einstein dovevano trovarsi sulla collina a nord-est di Berna. *Fonte:* modificata da Skorpion-Verlag.



Figura 5.8 Torre dell’orologio di Muri (1900 circa). Ecco cosa indicava Einstein quando gesticolava in direzione dell’unica torre dell’orologio di Muri mentre spiegava a Besso il suo nuovo schema di coordinazione del tempo. *Fonte;* Gemeindeschreiberei Muri Bei Bern.

In questo contesto, l’articolo einsteiniano, ultimato entro la fine del giugno 1905, può essere letto in modo molto diverso dall’usuale interpretazione standard. Più che come il frutto di un astratto “Einstein filosofo-scienziato” - completamente perso in speculazioni teoriche, mentre distrattamente si guadagna da vivere all’Ufficio brevetti - possiamo considerarlo come l’opera di un “Einstein funzionario-scienziato”, capace di rifrangere la metafisica sottostante alla sua teoria della relatività attraverso alcuni dei più simbolici meccanismi della sua epoca. I treni

arrivano alla stazione, come prima, alle 7.00 p.m.; ma ora, dopo il nostro lungo viaggio attraverso il tempo e lo spazio, possiamo renderci conto che non era solo Einstein a preoccuparsi di cosa questo significasse in termini di simultaneità a distanza. Al contrario, determinare gli orari di arrivo dei treni usando orologi elettromagneticamente coordinati era *precisamente* la questione pratica e tecnologica che aveva tormentato l'America del Nord e l'Europa negli ultimi trent'anni. Erano entrati in scena i brevetti, migliorando i pendoli elettrici, modificando i ricevitori, introducendo nuovi relè ed espandendo la capacità del sistema. La coordinazione del tempo nell'Europa centrale del 1902-1905 non era un arcano esperimento mentale; piuttosto, costituiva un punto critico per l'industria degli orologi, l'esercito e le ferrovie, *nonché* un simbolo di un mondo sempre più rapido e interconnesso. Significava pensare attraverso le macchine.

Einstein introdusse nell'universo della fisica dei principi la nuova tecnologia che in maniera potente e tangibile lo circondava: la simultaneità convenzionalizzata che sincronizzava le linee ferroviarie e fissava i fusi orari. Una traccia dell'esistente sistema di coordinazione del tempo si può ritrovare nello stesso articolo del 1905. Riconsideriamo lo schema di coordinazione da cui muove Einstein: un osservatore con un orologio è collocato al centro del sistema di coordinate. Tale orologio maestro, fissato nella posizione spaziale (0,0,0) determina la simultaneità quando segnali elettromagnetici che provengono da punti distanti arrivano a esso esattamente nello stesso tempo locale. Ma ora questo sistema centrato, standard, non è più un simulacro astratto. La struttura ramificata, a raggiera, di coordinazione degli orologi - visibile anche nei cavi telegrafici e nei generatori, illustrata in un brevetto dopo l'altro e in un libro dopo l'altro sulla misurazione del tempo - *era precisamente quella del sistema europeo costituito da un orologio madre con i suoi orologi dipendenti di secondo e terzo livello*. (Vedi le figure 5.9-5.11.) Einstein aveva sottoposto questo sistema stabilito allo sguardo critico di un fisico che esaminava brevetti: conservò l'idea che il tempo dovesse essere definito mediante uno scambio realizzabile di segnali, invocò la velocità assoluta della luce e cancellò la dipendenza del sistema da qualunque specifica origine spaziale privilegiata, ovvero da un sistema di riferimento in quiete rispetto all'etere.

Con una certa cautela possiamo cercare di ricostruire in maniera ancora più dettagliata il preciso tragitto dei pensieri di Einstein in questo incrocio di tecnologia e fisica della simultaneità avvenuto a metà maggio del 1905. Una possibilità è la seguente: reso sensibile all'importanza dei concetti basati su procedure, alla coordinazione del tempo e alle sue precise applicazioni brevettate, oltre che ai problemi filosofici discussi all'"Akademie Olympia", Einstein potrebbe essere stato pronto a cogliere e trasformare qualsiasi riferimento alla coordinazione degli orologi nel contesto dell'elettrodinamica dei corpi in movimento. Può darsi che, a un certo punto, egli avesse davvero letto l'articolo di Poincaré del 1900 in cui l'illustre francese dava la sua prima interpretazione fisica del "tempo locale" (approssimato) di Lorentz in termini di coordinazione di orologi mediante uno scambio di segnale nell'etere. Certo è che prima del 17 maggio 1906 Einstein lesse effettivamente l'articolo di Poincaré - quel giorno Einstein inviò a una rivista un suo articolo che faceva esplicitamente uso di idee contenute nel lavoro di Poincaré (sebbene *non* del

tempo locale).⁶⁹ È possibile che egli avesse studiato, o almeno visto, l'articolo di Poincaré tra il dicembre 1900 e il maggio 1905? Più specificamente: è possibile che avesse letto e scartato il suo ragionamento basato sull'etere mentre, in modo più o meno consapevole, avesse assimilato l'idea dell'illustre scienziato francese di un'interpretazione del tempo locale di Lorentz in termini di sincronizzazione degli orologi? Einstein non capiva bene il francese. Ma non aveva bisogno di leggere Poincaré direttamente; poteva aver incontrato idee analoghe (esprese in tedesco) nell'articolo di Emil Cohn del novembre 1904, "Zur Elektrodynamik bewegter Systeme".⁷⁰

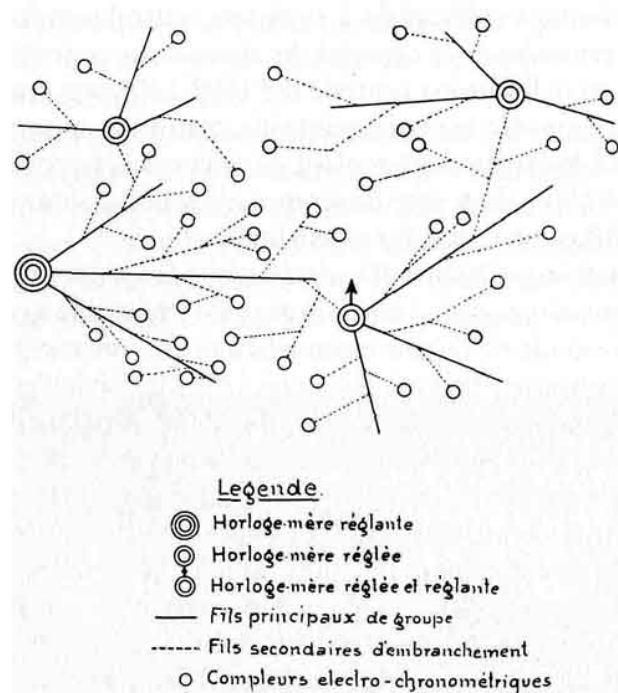


Figura 5.9 La rete temporale di Favarger. Succeduto a Hipp alla guida della compagnia svizzera (dopo il 1889, A. Peyer, A. Favarger & Cie.), Favarger la condusse a una posizione di primo piano nel mondo degli orologi elettrocoordinati, non solo per la produzione, ma anche per le invenzioni e i brevetti. Qui Favarger illustrava il prototipo di una rete di orologi secondari collegati a un orologio maestro. *Fonte:* Favarger *Electricité et ses Applications* (1884-1885, p. 320); ristampato in Favarger (1924, p. 394).

Allievo di un fisico sperimentale di Strasburgo rinomato per il suo lavoro sulla velocità del suono, Cohn era un teorico di successo che aveva cominciato la carriera in laboratorio, misurando il magnetismo. Anche quando passò dal tavolo del laboratorio alla lavagna, egli continuò a insistere instancabilmente sulle conseguenze misurabili del suo lavoro. All'epoca, era un fisico dall'eccellente reputazione; insieme con altri luminari, presentò un articolo al Convegno del dicembre 1900 in onore di Lorentz. Sembra probabile che abbia assistito alla conferenza di Poincaré; certo, avrebbe avuto ottime ragioni per leggerne la versione stampata negli atti che contenevano anche il suo contributo. Ma la parte per noi interessante della storia è la seguente: nel 1904 Cohn, come Poincaré, introdusse esplicitamente la coordinazione degli orologi nella sua definizione fisica del tempo locale, e lo fece con l'atteggiamento sospettoso verso le quantità puramente ipotetiche tipico di un esperimentale. In ciò era più simile a Einstein che a Poincaré. Diversamente da quest'ultimo, Cohn respingeva l'etere, preferendo "il vuoto", e considerava il tempo

locale dato da orologi coordinati mediante segnali luminosi valido per l'ottica, anche se non per la meccanica.

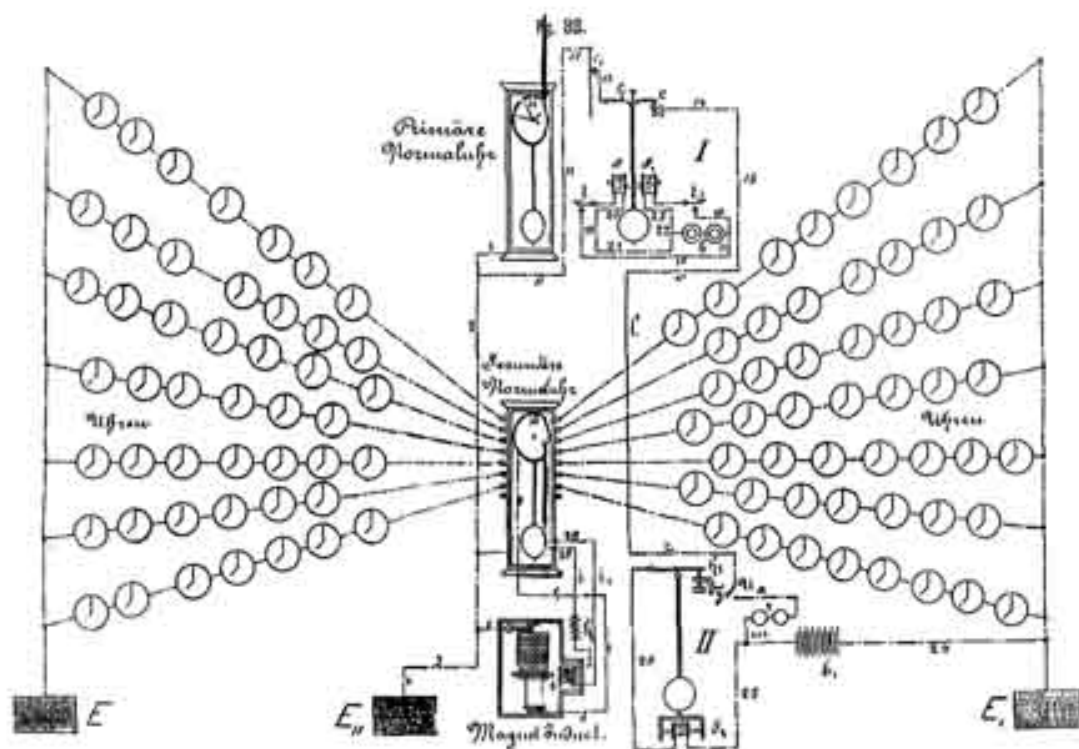


Figura 5.10 La rete telegrafica del tempo. Un'altra rappresentazione paradigmatica della distribuzione elettrica del tempo. Fonte: *Die Zeittelegraphen und die elektrischen Uhren vom praktischen Standpunkte* (Vienna, 1890, pp. 88-89).

Ed ecco l'irrisolvibile questione: quando vide Einstein la definizione procedurale di tempo locale di Cohn? Di nuovo, non ne siamo sicuri. Considerate solo questo: a un certo punto, prima del 25 settembre 1907, Einstein aveva in mano l'articolo di Cohn (quel giorno scrisse al redattore di una rivista menzionandolo e storpiandone tra l'altro il nome in "Kohn"). Il 4 dicembre 1907, l'editore registrò l'arrivo della rassegna di Einstein sulla relatività che conteneva, in una nota, il riconoscimento alquanto criptico: "Anche i pertinenti studi di E. Cohn vanno presi in considerazione, ma non ne ho fatto uso in questo lavoro".⁷¹ Di nuovo, Einstein potrebbe aver scartato il grosso del particolare approccio di Cohn all'elettrodinamica, pur estraendo da esso l'idea che la coordinazione degli orologi fosse rilevante per la definizione di simultaneità. (Tuttavia, anche un altro fisico, Max Abraham, aveva cominciato a studiare la simultaneità basata sugli scambi di segnali in un suo testo del 1905 sull'elettrodinamica, ma non abbastanza presto perché Einstein fosse in grado di vedere il lavoro prima di inviare il proprio articolo.)⁷² I limiti della ricostruzione sono evidenti, e lo sarebbero anche se fosse assodato che Einstein avesse letto uno di questi articoli. Ma non dobbiamo perdere di vista la meta principale: comprendere nel miglior modo possibile le condizioni filosofiche, tecniche e fisiche che permisero a Einstein di considerare la coordinazione degli orologi come il principio da cui doveva partire la teoria della relatività.

UNIFICATION ÉLECTRIQUE DE L'HEURE DANS UNE GRANDE VILLE

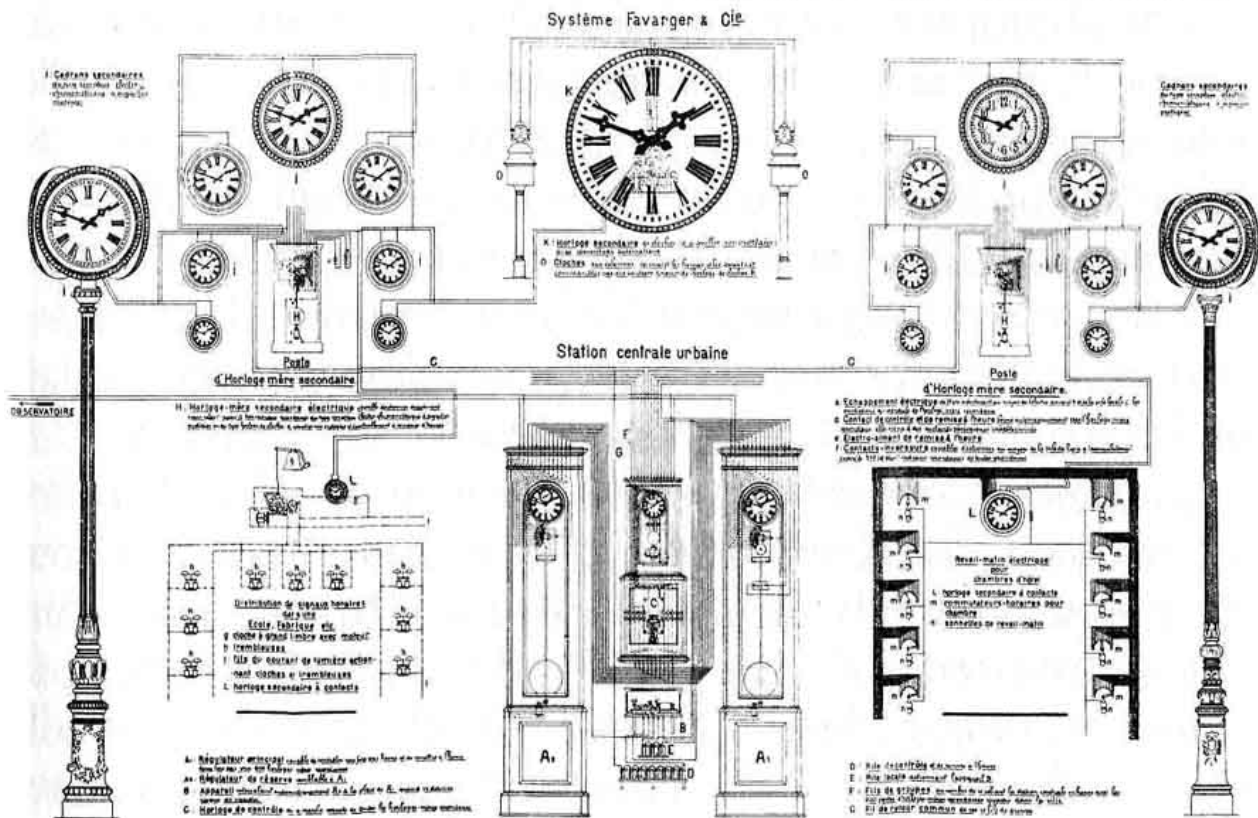


Figura 5.11 L'unificazione elettrica. Favarger voleva cablare l'interno degli edifici, ma aveva anche l'ambizione di cablare per intero i principali centri urbani, come testimonia questo schema. *Fonte:* Favarger *L'Electricité* (1924, pp. 427-428), tavola 4.

Ovviamente, possiamo sempre abbozzare una serie di ipotesi sul seme da cui questa idea è germogliata, evitando di cercare di specificare quale possa essere stato esattamente quel seme: una frase ricordata a metà di Poincaré o un articolo di Colin incontrato in biblioteca, un particolare brevetto, un orologio sincronizzato nelle strade di Berna o un testo filosofico discusso in una riunione dell'“Akademie Olympia”. La nostra posizione non è molto diversa da quella del meteorologo che può fornire un eccellente resoconto di come si è formata una tempesta studiando la potente corrente ascensionale di una colonna di aria umida: ma non è dato sapere intorno a quali granelli di polvere siano precipitate le prime gocce.

Chi vide che cosa quando? Che cosa fu rimosso e assorbito, su ispirazione di questo o quel commento e di questo o quel capoverso? Voler ripartire credito e priorità, procedere come una commissione che deve assegnare un premio a chi non c'è più da lungo tempo significa impiegare una storia incerta per una meta vana. Ben più importante, e più interessante, è il fatto che negli anni precedenti al maggio 1905 i discorsi sulla simultaneità erano sempre più frequenti tra i fisici alle prese con l'elettrodinamica dei corpi in movimento. Le procedure per stabilire la simultaneità acquistavano un peso sempre maggiore nei testi filosofici, nel paesaggio cittadino di Berna, lungo le ferrovie che attraversavano la Svizzera e ancora oltre, lungo i cavi telegrafici sottomarini e nella pila di domande accumulate all'Ufficio brevetti. Nel mezzo di questa straordinaria *intensificazione* materiale e letteraria della simultaneità telegrafica, fisici, ingegneri, filosofi e addetti al rilascio dei brevetti dibattevano su

come renderla visibile. Einstein non fu un prestigiatore che fece apparire dal nulla questi vari flussi di simultaneità; fu colui che, rompendo una giuntura del circuito, consentì alle correnti di attraversarlo. La simultaneità era da tempo in gioco su molte scale diverse, ma Einstein mostrò come lo *stesso* segnale di simultaneità le illuminasse tutte, dalla microfisica, attraverso i treni regionali e i telegrafi, fino alle più elevate speculazioni filosofiche sul tempo e sull'Universo.

Nel 1900 Poincaré aveva introdotto la sua interpretazione del tempo come scambio di segnali nel mezzo del suo discorso di Leida, attribuendola, con un commento quasi marginale, a Lorentz. Einstein fece della simultaneità basata sullo scambio di segnali un argomento centrale in ogni occasione, dal momento in cui, nel maggio del 1905, si trovava sopra le colline insieme a Besso, gesticolando verso gli orologi di Muri e di Berna. In un'ampia rassegna sulla teoria della relatività scritta alla fine del 1907, egli ribadì il ruolo cruciale del tempo. A suo giudizio, la vecchia teoria di Lorentz del 1895 aveva mostrato, almeno approssimativamente, che i fenomeni elettrodinamici non avrebbero rilevato il moto della Terra rispetto all'etere. L'esperimento di Michelson e Morley mise in chiaro che persino l'approssimata equivalenza di Lorentz non era sufficiente - il moto attraverso l'etere non poteva essere rilevato neppure ai più alti livelli di accuratezza. "Sorprendentemente", aggiungeva Einstein, "risultò che per superare le difficoltà non serviva altro che una concezione sufficientemente sofisticata del tempo." Il "tempo locale" di Lorentz, nella versione perfezionata del 1904 era quello che bastava per affrontare il problema. O meglio, per risolverlo *se*, come aveva fatto Einstein, "il 'tempo locale' veniva ridefinito come 'tempo' in generale". L'idea di Einstein era che questo " 'tempo' in generale" fosse precisamente quello fornito dalla procedura di scambio di segnali. Data questa interpretazione del tempo, le equazioni fondamentali di Lorentz seguivano. Così, con questa drastica ridefinizione, la teoria di Lorentz del 1904 poteva essere riportata sul giusto binario, con un'ulteriore (e non così piccola) eccezione: "Solo la concezione di un etere luminoso come sostrato delle forze elettriche ed elettromagnetiche non si adatta alla teoria qui descritta". Più precisamente, Einstein liquidava l'idea che i campi elettrici e magnetici fossero "stati di una qualche sostanza", come avrebbero detto i fautori dell'etere. Per Einstein, i campi elettrici ed elettromagnetici erano "cose che esistono indipendentemente", che si reggono in piedi da sole come un sacco di piombo. I campi elettromagnetici, come l'ordinaria materia ponderabile, potevano sostenere l'inerzia. Non dipendevano dallo stato di un etere inconoscibile, cui Einstein non era disposto a concedere la minima utilità.

Molte erano le possibilità aperte a un fisico che volesse comprendere la controversia dopo il 1905 sull'elettrodinamica dei corpi in movimento. Certo, Lorentz e Poincaré avevano un profilo enorme; la reputazione di Einstein stava crescendo. Ma dozzine erano le idee che si contendevano l'attenzione: il principio di relatività, lo statuto dell'etere, la velocità assoluta della luce, la mutevole massa dell'elettrone, la possibilità di spiegare la massa mediante l'elettrodinamica. L'interpretazione del tempo di Einstein emerse da questo turbine solo a partire dal 1909, prima in modo zoppicante e controverso, poi sempre più energico. (Anche se vi erano alcuni fisici, come Ebenezer Cunningham a Cambridge, in Inghilterra, che leggevano la relatività in maniera molto diversa; questi non era certo il solo che, pur entusiasta della nuova

teoria, *non* considerava gli orologi coordinati come l'evento principale nel grande dramma della relatività.)⁷³

GLI OROLOGI ANZITUTTO

Il matematico e fisico-matematico di Göttingen Hermann Minkowski puntò subito e direttamente il suo riflettore sugli orologi di Einstein. Molto prima del 1905 egli aveva costruito la propria carriera applicando la geometria là dove nessuno aveva mai pensato di farlo - al campo apparentemente impossibile da visualizzare della teoria dei numeri. (Va detto che il giovane Einstein ignorò risolutamente Minkowski anche quando era iscritto al corso tenuto dal grande matematico all'ETH.) Quando Minkowski vide i lavori di Lorentz, Poincaré ed Einstein, rivolse di nuovo il suo sguardo alla geometria. Egli identificò nell'attacco di Einstein alla concezione classica del tempo la chiave del puzzle, una chiave che, insieme con la sua propria formulazione di una geometria a quattro dimensioni dello "spazio-tempo", apriva la strada a una nuova concezione della fisica. Chiamava la nuova fisica "radicale", ma nei manoscritti la dipingeva, con maggior vigore come "potentemente rivoluzionaria". Nella sua celebre lezione "Spazio e tempo", egli mise in chiaro che era stato Einstein a liberare la moltitudine di tempi usati in fisica dalla condanna a un'esistenza fittizia: "Il tempo, come concetto determinato in modo inequivoco dai fenomeni, era stato deposto dal suo trono". Egli asserì con chiarezza che era stato Einstein a mostrare come non vi fosse alcun significato coerente di "tempo" per sé, ma vi fossero solo "tempi", al plurale, dipendenti dal sistema di riferimento.⁷⁴

Nell'indagare *il* suo mondo a quattro dimensioni, Minkowski attinse da Poincaré, che, già nel 1906, aveva considerato uno spazio-tempo quadrimensionale. Il poliedrico francese aveva osservato che, tra tutti i cambiamenti di tempo e spazio da un sistema di riferimento a un altro, vi era una sola quantità che rimaneva invariata. Ecco un'analogia: supponiamo che segni la posizione di un osservatorio e inchiodiate la mappa a un'asse di legno con un solo chiodo che passa per la posizione di casa vostra. Se ruotate la mappa di 45 gradi in senso orario, cambiate la distanza orizzontale tra casa vostra e l'osservatorio, mentre simultaneamente modificate la distanza verticale. Ma, ovviamente, ruotando la mappa in questo modo non viene in alcun modo alterata la distanza effettiva tra casa vostra e l'osservatorio. Cioè, se lo scarto orizzontale è A , quello verticale è B e la distanza fra i due punti è C , allora ruotare la mappa modificherà A (se la mappa viene ruotata in modo da allineare verticalmente la casa e l'osservatorio, per esempio, non vi sarà *alcuno* scarto orizzontale). Analogamente, una rotazione modificherà B , lo scarto verticale. Ma nessuna rotazione potrà mai cambiare la *distanza* C tra la casa e l'osservatorio. Minkowski mostrò che le trasformazioni relativistiche di spazio e tempo potevano essere considerate, in modo rigoroso, come una rotazione che preserva la distanza in uno spazio a quattro dimensioni costituito dallo spazio e dal tempo ordinari. Come nella geometria euclidea la distanza rimaneva la stessa (nonostante la rotazione), così nella relatività vi era una nuova distanza che non era toccata dalle trasformazioni

dello spazio e del tempo separati. La [distanza spazio-temporale al quadrato] era sempre uguale alla [differenza di tempo al quadrato] meno la [differenza di spazio al quadrato].

In un'efficace conferenza tenuta a Colonia il 21 settembre 1908, Minkowski si servì della matematica di Poincaré, reinterpretandola però in termini che catturarono immediatamente l'immaginazione dei molti fisici presenti: "D'ora innanzi, lo spazio per sé e il tempo per sé sono destinati a svanire sino a diventare mere ombre, e solo un qualche tipo di unione dei due potrà preservare l'indipendenza". Per Minkowski, la realtà non consisteva in quello che possiamo afferrare con i nostri sensi ordinari (lo spazio per sé, il tempo per sé), ma nelle distanze di questa fusione quadrimensionale di spazio e tempo. Invocando immagini suggestive di proiezioni e di oggetti nello spazio-tempo quadrimensionale, egli doveva richiamare alla mente di quelli che tra il pubblico avevano una formazione classica il paragone della caverna della *Repubblica* di Platone. In esso si raccontava di come un prigioniero, costretto a vedere solo le ombre degli oggetti danzare sulle pareti della caverna, facesse estrema fatica a guardare direttamente gli oggetti tridimensionali dietro la sua testa, per non dire della luce che li illuminava. Minkowski sosteneva che, nella vecchia fisica dello "spazio" e del "tempo", gli scienziati erano stati analogamente fuorviati dalle apparenze. Quando parlavano di spazio e di tempo, separatamente, i fisici non facevano altro, come i prigionieri di Platone, che contemplare ombre proiettate su tre dimensioni. La piena realtà superiore di un "mondo assoluto" quadrimensionale si sarebbe rivelata solo attraverso la liberazione del pensiero, e più specificamente attraverso le intuizioni che i matematici erano in grado di fornire.⁷⁵

In un primo tempo, Einstein oppose una certa resistenza alla formulazione di Minkowski, che gli appariva gravata da inutili complicazioni matematiche. Tuttavia, man mano che si addentrava nella teoria della gravitazione, la nozione di spaziotempo si dimostrava sempre più essenziale. Nel frattempo, l'idioma di Minkowski diventò per molti fisici la strada per arrivare alla relatività, un percorso che a molti appariva più accessibile di quello tracciato dallo stesso Einstein.⁷⁶ Alcuni respingevano l'idea di Minkowski che la realtà fosse quadrimensionale e che la fisica dovesse essere completamente riformulata in maniera che potesse descrivere un mondo del genere. Per ironia della sorte, tra coloro che più dubitavano di una fisica a quattro dimensioni figurava Poincaré che, già all'inizio del 1907, aveva preventivamente liquidato l'utilità di un simile progetto:

Sembra che sia possibile tradurre l'intera nostra fisica nel linguaggio della geometria a quattro dimensioni; [ma] tentare questa traduzione sarebbe darsi una gran pena per un magro profitto. [...] La traduzione sembrerebbe essere sempre meno semplice del testo e avrebbe sempre l'aria di una traduzione, e il linguaggio delle tre dimensioni potrebbe adattarsi meglio alla nostra descrizione del mondo, sebbene tale descrizione possa essere espressa, in modo rigoroso, anche in un altro idioma.⁷⁷

Come sempre, Poincaré scopriva nuove terre, identificava i passaggi che conducevano a esse e poi decideva di stabilire la propria postazione in *terra cognita*. Una volta cominciata l'esplorazione dello spazio-tempo quadridimensionale di geometria non euclidea, Einstein non si tirò più indietro.

Egli tornò ripetutamente sul problema della misurazione del tempo. Nel 1910, per esempio, insistette ancora una volta che il tempo non poteva essere catturato senza orologi. “Che cos’è un orologio?”, chiedeva. “Per orologio intendiamo qualsiasi cosa caratterizzata da un fenomeno che passa periodicamente attraverso fasi identiche, così che dobbiamo assumere, in virtù del principio di ragion sufficiente, che tutto ciò che accade in un dato periodo sia identico a tutto ciò che accade in un periodo arbitrario.”⁷⁸ Se non vi è alcuna ragione di pensare altrimenti, dobbiamo assumere che l’Universo sia costante. Se l’orologio è un meccanismo che spinge le lancette a girare circolarmente, allora il moto uniforme di queste lancette segnerà il tempo; se l’orologio fosse un atomo, allora il tempo sarebbe segnato dalle sue oscillazioni. In sé, l’osservazione di Einstein sul significato di “orologio” estendeva la serie di indagini filosofiche sul tempo compiute da Mach, da Pearson o dallo stesso Poincaré nel suo “La misura del tempo”. Ora, tuttavia, non vi era alcuna necessità che un orologio fosse un oggetto macroscopico: poteva anche essere un atomo. Quando impiegò tali parole, Einstein stava scrivendo per una pubblicazione scientifica, ma non è difficile capire perché queste considerazioni furono viste quasi immediatamente come un contributo filosofico. Certo, il concetto di tempo di Einstein veniva letto in tal modo dalla nuova filosofia scientifica che comprendeva, tra gli altri, Moritz Schlick e Rudolf Carnap del Circolo di Vienna, o il loro alleato di Berlino, Hans Reichenbach.

Il 16 gennaio 1911 Einstein intervenne alla *Naturforschende Gesellschaft* di Zurigo. Ancora una volta il giovane scienziato, ormai sempre più noto, espose il suo ragionamento, dalla teoria di Lorentz ai postulati della relatività e alla procedura per la coordinazione degli orologi. Deliziato dal suo stesso esempio, Einstein spiegò che “la cosa più bizzarra” risultava non appena ci si immaginava un orologio - meglio ancora se un orologio vivente, un organismo - spedito in un viaggio di andata e ritorno a una velocità vicina a quella della luce. Al ritorno, questo essere sarebbe stato appena più vecchio, mentre per quelli che erano rimasti a casa sarebbero passate varie generazioni. Nonostante l’iniziale scetticismo, Einstein riverì Minkowski le cui “elaborazioni matematiche di grande interesse” avevano messo in rilievo un metodo che rendeva “le applicazioni [della teoria della relatività] sostanzialmente più semplici”. La lode arrivò troppo tardi perché Minkowski potesse apprezzarla. Egli era morto improvvisamente nel 1909. Ma ora Einstein, come Minkowski, cominciava a esaltare il fascino della rappresentazione degli “eventi fisici [...] in uno spazio a quattro dimensioni”, e delle relazioni fisiche “come teoremi geometrici”.⁷⁹

Kleiner, il professore che era stato esaminatore della tesi di dottorato di Einstein e talvolta suo sostenitore, scese in campo per lodare l’ex studente che in passato gli aveva creato non poche difficoltà:

Per quanto riguarda il principio di relatività, si dice che sia rivoluzionario. Tale espressione è stata impiegata in particolare per quei postulati che solo grazie a Einstein hanno innovato la nostra rappresentazione fisica. Essa è adeguata per buona parte della sua formulazione del concetto di tempo. Finora siamo stati abituati a considerare il tempo come qualcosa che fluisce sempre, in ogni circostanza, nella stessa direzione, come qualcosa che esiste indipendentemente dai nostri pensieri. Ci siamo abituati a immaginare che da qualche parte nel mondo esista un orologio che categorizza il tempo. O almeno, si pensava che fosse consentito immaginare le cose in questo modo. [...] Ora risulta che la nozione di tempo come qualcosa di assoluto nel vecchio senso non

può essere mantenuta e che, invece, quello che designiamo come tempo dipende dagli stati del moto.⁸⁰

Viceversa, il concetto stesso di relatività, per Kleiner, difficilmente poteva dirsi “rivoluzionario”; era una “chiarificazione”, forse, ma non qualcosa di “fondamentalmente nuovo”. Se vi era qualcosa nella fisica di Einstein che addolorava il buon professor Kleiner era la perdita dell’etere. Certo, ammetteva, il concetto era diventato sempre più incomprensibile. Ma, senza di esso, non ci si trovava forse di fronte a un fenomeno di “propagazione in un medium che non è un medium?”. Peggio ancora, l’abbandono dell’etere non ci lasciava con formule che non avevano alcuna “immagine mentale”? In risposta, Einstein concesse che l’etere poteva avere avuto, nell’era di Maxwell, un “effettivo valore per la rappresentazione intuitiva”. Ma il valore del concetto di etere era venuto meno non appena i fisici avevano smesso di rappresentarlo come un’entità meccanica dotata di proprietà meccaniche. Perso il suo carattere intuitivo, l’etere era diventato per Einstein nient’altro che una gravosa finzione.

Quel giorno di gennaio, quasi ogni oratore, direttamente o indirettamente, tirò in ballo la conferenza su “Spazio e tempo” di Minkowski che aveva spianato la strada per una più ampia accettazione della teoria einsteiniana. Gli scambi tra lo stesso Einstein e una persona del pubblico (un laureato dell’università di Zurigo, che aveva conseguito il titolo nel 1904) misero in evidenza lo status della teoria:

Dr. [Rudolf] Lämmel: La rappresentazione del mondo che risulta dalle concezioni del principio di relatività è inevitabile, oppure le assunzioni sono arbitrarie e convenienti, ma non necessarie?

Prof. Einstein: Il principio di relatività è un principio che limita le possibilità; non è un modello, proprio come non lo è il secondo principio della termodinamica.

Dr. [Rudolf] Lämmel: La domanda era se il principio sia inevitabile e necessario o solo conveniente.

Prof. Einstein: Il principio è logicamente non necessario: lo sarebbe solo se fosse reso tale dall’esperienza. Ma l’esperienza lo rende soltanto probabile.

Anche per Poincaré i principi erano resi probabili dall’esperienza, ma essi erano proprio ciò che era conveniente; potevano essere mantenuti a dispetto dell’esperienza solo a costo di un’enorme scomodità. “I principi”, aveva scritto Poincaré ne *La scienza e l’ipotesi*, “sono convenzioni, definizioni camuffate.” Per Einstein, i principi erano qualcosa più che delle definizioni, erano i pilastri che sostenevano la struttura della conoscenza. E questo nonostante il fatto che la nostra conoscenza dei principi non potesse mai essere certa; la nostra accettazione di essi era necessariamente provvisoria, dettata solo dalla probabilità, mai forzata dalla logica o dall’esperienza.

Per Ernst Meissner, allora Privatdozent di fisica e matematica all’ETH, il lavoro di Einstein forniva un modello per un’ampia rivalutazione critica di qualsiasi concetto della fisica. Si doveva riesaminarli tutti per vedere quali rimanessero invariati rispetto al cambiamento di sistema di riferimento:

Meissner: La discussione ha mostrato qual è la prima cosa da fare. Tutti i concetti fisici devono essere rivisti.

Einstein: La cosa principale è ora allestire i più esatti esperimenti possibili al fine di controllare i fondamenti. Nel frattempo, tutto questo rimuginare non ci porterà lontano. Le sole conseguenze degne di interesse sono quelle che conducono a risultati che siano, in linea di principio, accessibili all'osservazione. *Meissner*: Lei ha rimuginato su questi argomenti e ha scoperto il suo splendido concetto di tempo. Ha scoperto che esso non è indipendente. La stessa indagine deve essere condotta anche per altri concetti. Lei ha mostrato che la massa dipende dal contenuto di energia, e ciò ha reso più preciso il concetto di massa. Lei non ha condotto alcuna indagine fisica di laboratorio, ma ha invece rimuginato.⁸¹

Oh sì, rispose Einstein, ma pensate al bell'impiccio in cui ci ha cacciato tutto questo rimuginare.

La revisione einsteiniana del concetto di tempo attirò l'attenzione di alcuni dei suoi più illustri contemporanei. Max von Laue dichiarò, nel suo testo del 1911 sul principio di relatività, che era stato il “contributo rivoluzionario” di Einstein che aveva, con la sola critica del concetto di tempo, risolto il puzzle dell'etere di Lorentz, un'entità reale ma impossibile da rilevare.⁸² Max Planck, il decano dei fisici tedeschi (che aveva introdotto la discontinuità quantistica nella fisica), si spinse oltre. Parlando nel 1909 alla Columbia University di New York, disse ai convenuti: “Non c'è molto bisogno di sottolineare che questa nuova visione del tempo mette davvero a dura prova la capacità di astrazione e l'immaginazione dei fisici. Supera in audacia qualunque cosa sia stata finora realizzata dall'indagine speculativa della natura e persino dalle teorie filosofiche della conoscenza: in confronto, la geometria non euclidea è un gioco per bambini”.⁸³ Le parole di Planck accrebbero la reputazione di Einstein, diffondendo la sua stessa sensazione che l'analisi del tempo fosse il punto cruciale del suo lavoro. La relatività della simultaneità, osservò Einstein poco tempo dopo, “implica un cambiamento fondamentale del nostro concetto di tempo. [Si tratta del] più importante e anche del più controverso teorema della nuova teoria della relatività”.⁸⁴

Emil Cohn, che aveva riflettuto sugli orologi coordinati mediante segnali luminosi almeno dal 1904, tornò sulla questione nel 1913, in un breve libro divulgativo (*Physikalisches über Raum und Zeit*), discutendo la simultaneità in termini completamente einsteiniani (si riferiva al “Principio di Lorentz-Einstein”, senza menzionare minimamente Poincaré). Includendo una fotografia di un telegrafo e un modello in legno del processo di coordinazione, Cohn disegnò dozzine di orologi e regoli per enfatizzare a ogni passo che la cinematica di Einstein era fisica, procedurale e del tutto visualizzabile in termini di orologi pubblici coordinati: “La sincronizzazione di due orologi a Strasburgo e a Kehl (che battono a un ritmo simile, come abbiamo controllato in precedenza) può e deve svolgersi in questo modo: Strasburgo manda al tempo 0 un segnale luminoso a Kehl, che viene riflesso; questo torna a Strasburgo al tempo 2. L'orologio di Kehl è allora regolato correttamente se, nel momento in cui il segnale arriva lì, il suo orologio mostra il tempo 1 (e se non è così dovrebbe essere corretto in tal senso)”. Einstein apprezzò la presentazione di Cohn e lo scrisse.⁸⁵

Nemmeno per un momento egli smise di “rimuginare” sul tempo; nel 1913 pubblicò un argomento nuovo e sorprendentemente semplice a favore della relatività del tempo. Immaginiamo, diceva, che due specchi paralleli formino un “orologio” in

cui ciascun battito è definito dal passaggio di un lampo di luce da uno specchio all'altro (figura 5.12a). Ebbene, supponiamo che questo orologio si muova verso destra (figura 5.12b). Per un osservatore stazionario, il moto avanti e indietro del lampo di luce segue uno schema a sega, più o meno come la traiettoria che seguirebbe la palla di un giocatore di basket in corsa vista dagli spettatori. Ecco il punto: la traiettoria inclinata dell'orologio in moto (visto dall'osservatore stazionario) è ovviamente più lunga della traiettoria perpendicolare dell'orologio dell'osservatore in quiete. Ma, per assunzione, la velocità della luce è la stessa in *ogni* sistema di riferimento, così la luce viaggia lungo la traiettoria inclinata alla velocità c . (Questo *non* è vero nel caso della palla da basket, poiché gli spettatori potrebbero vedere che il moto inclinato della palla è più veloce rispetto al semplice moto perpendicolare visto dal giocatore.) Poiché il tragitto percorso dalla luce lungo la linea inclinata è più lungo di quello lungo la perpendicolare, il tempo che impiega è maggiore (D è più grande di h). Ne segue che un battito per l'osservatore in moto (che appare all'osservatore stazionario come se stesse seguendo una linea inclinata) è più lento di quello dell'osservatore stazionario (che va su e giù in linea retta).⁸⁶

Per quanto concerne il sistema di riferimento stazionario, tutto quello che accade nel sistema di riferimento in moto accade più lentamente. Comunque Einstein presentasse la sua teoria, la lezione centrale era sempre la stessa: il tempo assoluto era finito. Al suo posto egli forniva una procedura semplice e pratica: sincronizzare gli orologi mediante lo scambio di segnali luminosi. Qualsiasi altra cosa nella teoria seguiva da ciò nonché dalle fondamentali assunzioni della relatività e della costanza della velocità della luce.

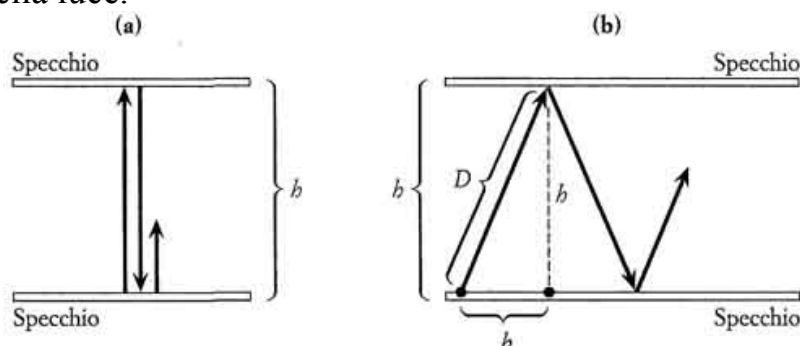


Figura 5.12 Orologio luminoso di Einstein (1913). (a) In quella che rimane la sua più semplice spiegazione del fenomeno della dilatazione del tempo, Einstein immaginava due specchi paralleli tra i quali si rifletteva un impulso luminoso, in modo che ciascun attraversamento costituisse un "battito". Se un orologio di tal fatta scorreva di fronte a un osservatore "in quiete", l'impulso visto da quest'ultimo seguiva un percorso a denti di sega, (b) In ciascuno degli attraversamenti inclinati l'impulso seguiva un percorso più lungo (lungo la diagonale) rispetto a quello perpendicolare seguito da un orologio simile nel sistema di riferimento in quiete. Poiché la luce viaggia alla stessa velocità in ogni sistema di riferimento, la durata di un battito nel sistema di riferimento degli specchi avrebbe dovuto risultare maggiore che nel sistema di riferimento in quiete. Dunque, l'osservatore in quiete doveva concludere che il tempo scorreva più lentamente nel sistema di riferimento in moto.

RADIO EIFFEL

Quando i segnali elettromagnetici erogati da una centrale arrivavano in punti distanti, non importa se nella stanza accanto, o a centinaia di chilometri, non erano solo Einstein e Poincaré che li *definivano* simultanei. Tutt'altro. Sulla base dello scambio di segnali elettrici, i funzionari ferroviari compilavano i loro orari, i generali svegliavano le truppe, gli operatori telegrafavano accordi d'affari e i geodetici tracciavano mappe. Di fatto, proprio durante i primi anni che Einstein trascorse all'Ufficio brevetti, vennero ultimati i preparativi per inviare segnali di coordinazione per mezzo di onde radio - la marina americana cominciò a fare esperimenti con segnali a basso potenziale dal New Jersey nel settembre 1903, con l'ordine di radiotrasmissione che arrivava da Cape Cod (Massachusetts) e Norfolk (Virginia) nell'agosto 1904. Il tempo di radiotrasmissione non era una faccenda esclusivamente americana. Nel 1904 vi era un'intensa attività che circondava i sistemi di coordinazione radio sia in Svizzera sia in Francia, mentre i tecnici controllavano, sviluppavano e cominciavano a mettere in funzione nuovi metodi di trasmissione. Lo stesso direttore della rivista francese *La Nature* prese in mano la penna per dare un resoconto dei nuovi sviluppi nella distribuzione del tempo mediante dispositivi senza fili. Riferendo di esperimenti condotti all'Osservatorio di Parigi, notò che, con l'aiuto di un cronografo, la sincronizzazione a distanza appariva ora possibile con un margine di errore di due o tre centesimi di secondo. Le tecnologie senza fili promettevano di distribuire l'ora esatta in ogni angolo di Parigi e dei suoi sobborghi, soppiantando non solo il vecchio sistema a vapore, ma anche le ingombranti linee di terra che appesantivano la comunicazione elettrica del tempo via telegrafo. La radio aveva fatto progredire la scienza attraverso determinazioni più precise della longitudine; ora liberava il tempo dal fardello fisico dei cavi. Finalmente, la simultaneità poteva essere radiotrasmessa alle navi in mare e persino "alle famiglie comuni".⁸⁷ Nell'ufficio di Einstein cominciarono presto ad arrivare brevetti per progetti di sincronizzazione del tempo via radio.⁸⁸

Il tempo senza fili furoreggiava nei primi anni del XX secolo, e la Francia spingeva sull'acceleratore della nuova tecnologia. Poincaré svolse un ruolo cruciale attraverso le sue pubblicazioni tecniche e divulgative intorno alla radio, ma ne ebbe uno ancora maggiore dietro le quinte. Come aveva fatto molte volte in precedenza, passava senza difficoltà dalle considerazioni astratte sullo statuto dell'elettromagnetismo all'esigenza pratica di trovare un uso immediato per la tecnologia della radio. Il continuo impegno nella teoria e nella pratica della comunicazione facilitò indubbiamente la sua chiamata come professore presso l'*École Professionnelle Supérieure des Postes et Télégraphes* nel 1902. Nello stesso anno contribuì con un articolo sulla telegrafia senza fili all'annuario del *Bureau des Longitudes*, in cui passava inizialmente in rassegna i famosi esperimenti di Hertz del 1888 che avevano dimostrato per la prima volta l'esistenza di onde radio. Ma subito dopo doveva tuffarsi nelle questioni pratiche, chiedendo: poteva la nuova "luce di Hertz"

soppiantare la telegrafia ottica raggiungendo punti ancora più distanti e diffrangendosi lungo la curvatura della terra? Come poteva la radio penetrare la nebbia che bloccava la luce visibile? Era possibile che nuovi tipi di antenne dirigessero e concentrassero le onde radio? Poincaré era altrettanto disposto ad addentrarsi nei dettagli dei rivestimenti di alpaca e a riflettere sugli usi della radio per evitare le collisioni di navi in condizioni atmosferiche difficili.

Come abbiamo visto, i francesi nutrivano per la radio preoccupazioni di natura geopolitica, dopo la dolorosa dimostrazione che avevano avuto negli ultimi anni del XIX secolo del fatto che gli inglesi erano in grado di monitorare e interrompere le loro comunicazioni. Erano preoccupazioni che Poincaré condivideva con altri membri dell'élite amministrativa francese. Un diplomatico ammonì l'Unione coloniale che, se i britannici avessero mantenuto il loro monopolio sui cavi, i francesi non avrebbero potuto più fidarsi del carattere confidenziale delle loro comunicazioni di stato. Usando un proiettore a lanterna, illustrò ai suoi preoccupati ascoltatori una mappa del mondo colorata in base alla quale potevano rendersi conto da soli della situazione disperata. In blu era riportata la manciata di brevi cavi francesi che collegavano il Nord Africa e la Francia e un'unica lunga linea verso gli Stati Uniti. "Guardate ora l'immenso sviluppo delle linee rosse: si estendono ovunque e abbracciano il mondo intero come una vera e propria ragnatela. Queste linee rosse evidenziano la rete delle compagnie telegrafiche inglesi."⁸⁹ L'instabilità causata dalle rivolte anticoloniali e dai conflitti che minacciavano la pace tra Francia e Gran Bretagna rendeva la situazione quanto mai difficile. In un'atmosfera così carica di tensione non vi era da sorprendersi che la sicurezza fosse per Poincaré la caratteristica chiave della nuova era senza fili: "La telegrafia ottica e la telegrafia hertziana hanno sulla telegrafia ordinaria un vantaggio comune: in tempo di guerra, il nemico non può interrompere le comunicazioni tagliando i fili". Ma mentre per intercettare un segnale luminoso il nemico doveva essere in una posizione appropriata, i segnali radio potevano essere catturati molto più facilmente, e si poteva persino disturbare le comunicazioni inviando segnali incoerenti. "Si ricordi che Edison aveva minacciato i suoi concorrenti europei, se volevano sperimentare in America, di disturbare i loro esperimenti in questo modo." Poincaré oscillava tra la teoria pura e la pratica, proprio come la scintilla di un radiotrasmettitore: il suo interesse era rivolto ai circuiti primari e secondari, ma anche alla sicurezza della comunicazione diplomatica francese.⁹⁰

In cerca di siti sempre più elevati su cui collocare le antenne, i promotori del nascente servizio radio francese avevano già cominciato a guardare alla Torre Eiffel, il cui destino, nel 1903, era ancora assai incerto. Eleuthère Mascart scrisse a Poincaré dall'Ufficio meteorologico pregandolo di aiutarlo a convincere il ministro della guerra a salvare la Torre (e dunque la stazione annessa) dallo smantellamento. La grande torre era, a suo dire, una risorsa militare non solo per la telegrafia ottica, ma anche per le nuove sperimentazioni sulla trasmissione senza fili che erano già state avviate. Sicuramente il ministro avrebbe prestato ascolto a Poincaré - avrebbe, dunque, provato a salvare la torre in nome della sua importanza per la difesa nazionale? Nel frattempo, Gustave-Auguste Ferrié, membro dell'*École Polytechnique*, ingegnere e capitano dell'esercito, unì le sue forze a quelle di Gustave Eiffel; nel 1904 riuscirono a fare in modo che la torre fosse destinata a stazione del

servizio radio francese. A completare il loro successo venne il trionfo dell'esercito, ampiamente pubblicizzato dalla radio, che si ebbe quando Ferrié, impiegando un equipaggiamento radio, riuscì a comunicare con i suoi comandanti in Francia nel corso di una battaglia, condotta su carri tirati da cavalli, contro i ribelli marocchini.⁹¹

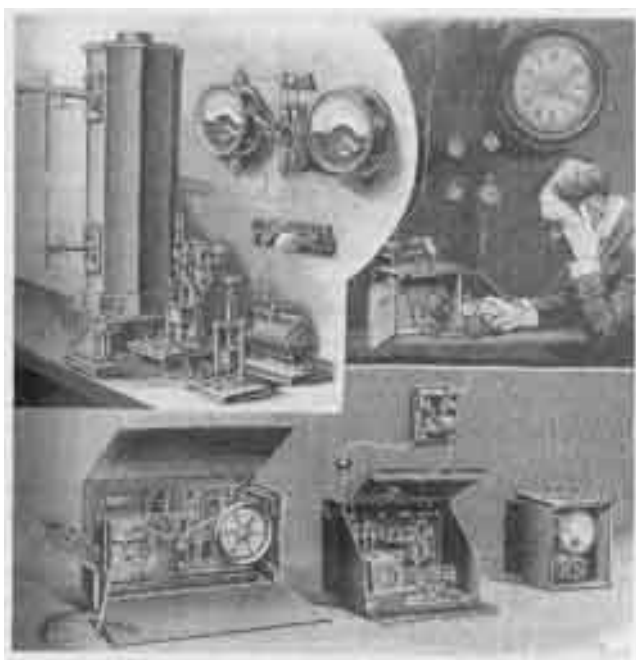


Figura 5.13 Tempo senza fili. Nel 1904-1905 numerosi gruppi facevano esperimenti sulla trasmissione del tempo senza fili. La marina americana fu tra i primi, ma diversi altri perseguivano la stessa meta. Questa figura, tratta da una rivista francese di grande diffusione, mostra il trasmettitore, il ricevitore e un operatore. *Fonte:* Bigourdan (1904, p. 129).

Per la sua posizione al *Bureau des Longitudes*, nella comunità scientifica e ormai anche all'interno della più ampia élite intellettuale francese, le ambizioni di Poincaré per la torre, nell'era della radio, avevano un certo peso. Grazie soprattutto al suo intervento, nel maggio 1908 il *Bureau* esortò a stabilire un segnale orario radio che partisse dalla Torre Eiffel e potesse essere usato per determinare la longitudine ovunque fosse ricevibile. L'appoggio dell'esercito arrivò facilmente. Nell'inverno 1908, il governo francese formò una commissione interministeriale, presieduta da Poincaré, per controllare la nuova tecnologia radio. Il ministro della guerra diede il suo contributo, mettendo a disposizione i fondi. La simultaneità senza fili era diventata una priorità militare, oltre che civile.⁹²

L'8 marzo 1909 Poincaré convocò il settimo incontro della commissione. Il direttore dell'Osservatorio di Parigi era presente; c'era anche il maggiore Ferrié (fresco di promozione), e con lui gli ingegneri di vari ministeri, incluso quello della marina. Nell'illustrare la situazione ai convenuti, Ferrié suddivise i segnali orari in due classi. I primi erano segnali orari grossolani, con un errore fino a mezzo secondo, che potevano essere utilizzati per la navigazione. Questi impulsi potevano essere avviati usando segnali mandati dall'osservatorio per mezzo di cavi. Poi, c'erano i segnali "speciali" per la geodesia di alta precisione. Questi dovevano essere generati in modo più accurato, per ottenere una precisione fino a un centesimo di secondo.⁹³

Se foste stati operatori radio in una delle colonie, desiderosi di stabilire con

precisione la vostra relazione di longitudine con Parigi, ecco cosa avreste fatto una volta sintonizzati con la capitale. La stazione della Torre Eiffel avrebbe emesso un segnale una volta ogni 1,01 secondi; vi sareste messi in ascolto prima di mezzanotte, ora di Parigi, in attesa degli impulsi in arrivo via radio. Al contempo, avreste regolato il vostro orologio locale che emette un breve segnale acustico a ogni secondo (ora locale). Per convenzione, sapevate che i segnali sarebbero partiti dalla Torre Eiffel a mezzanotte, ora di Parigi, e dunque alle 12.00.00.00, 12.00.01.01, 12.00.02.02, e così via. Contando il numero di segnali trascorsi prima di udire contemporaneamente il bip locale e quello della Torre Eiffel, potevate sincronizzare gli orologi. Per esempio, se il vostro primo bip locale fosse coinciso con il decimo segnale acustico emesso dalla Torre Eiffel, avreste allora saputo che alla Torre Eiffel era mezzanotte più dieci segnali (12.00.10.10). Per conoscere l'ora locale che corrispondeva al battito coincidente con quello della Torre vi sarebbe bastato guardare il vostro orologio. Potevate così sottrarre l'ora della Torre Eiffel (12.00.10.10) dalla vostra ora locale e ottenere la differenza di longitudine tra la vostra stazione radio e il grande simbolo della modernità parigina. Entro il marzo del 1909, la commissione aveva in mano un progetto per trasmettere senza fili segnali orari di precisione.

Il mese successivo, Poincaré si recò a Göttingen per una serie di conferenze sulla matematica pura e applicata. Nelle prime cinque presentò il suo lavoro tecnico in tedesco. Ma nell'ultima spiegò ai convenuti che, senza il sostegno delle equazioni, sarebbe tornato alla sua lingua madre. L'argomento era "la nuova meccanica". Guardandosi intorno, disse al pubblico che il monumento apparentemente imperituro della fisica newtoniana era stato, se non del tutto abbattuto, potentemente scosso. "È sottoposto agli attacchi di grandi demolitori: ne avete uno in mezzo a voi, il professor Max Abraham; un altro è il fisico olandese Lorentz. Vorrei parlarvi [...] delle rovine del vecchio edificio e della nuova costruzione che si vuole erigere al suo posto." Poincaré si interrogò poi sul "ruolo che svolge il principio di relatività nella nuova meccanica". E aggiunse: "Dobbiamo parlare in primo luogo del tempo apparente, un'invenzione assai ingegnosa del fisico Lorentz". Immaginate, disse al suo uditorio, "osservatori meticolosi come pochi, che nella loro operazione [di regolazione degli orologi] esigono un'eccezionale precisione; per fare un esempio, sarà questione non di un secondo, ma di un milionesimo di secondo. Come potranno fare? Da Parigi a Berlino, l'osservatore *A* invia un segnale telegrafico, senza fili se preferite, per essere del tutto al passo con i tempi. L'osservatore *B* prende nota dell'istante di ricezione, che rappresenterà per i due cronometri l'istante [zero]. Ma il segnale - che viaggia solamente alla velocità della luce - impiega un certo tempo per andare da Parigi a Berlino; l'orologio di *B* sarà quindi indietro. *B* è troppo intelligente per non rendersene conto e provvede a porre rimedio a questo inconveniente". Gli osservatori *A* e *B* risolvono il problema nello stesso modo in cui lo avrebbero risolto due telegrafisti del *Bureau des Longitudes* - scambiandosi segnali. *A* manda un segnale orario a *B* e *B* ad *A*.⁹⁴ È il modo in cui l'Ufficio ha lavorato per decenni - inviare segnali via cavo avanti e indietro tra Parigi e il Brasile, il Senegal, l'Algeria, l'America. O, anche, come sarebbe stato presto possibile con l'aiuto di Poincaré, mediante collegamenti senza fili tra la "modernissima" Torre Eiffel e Berlino.

Alle 2.30 del pomeriggio di sabato, 26 giugno 1900, Poincaré e i membri della sua

commissione si riunirono alla Torre Eiffel per ispezionare la stazione sperimentale. Il capitano di vascello Colin descrisse e illustrò l'apparato tecnico, riassumendo le ultime invenzioni radiotelegrafiche e distribuendo un rapporto della marina americana sulla recente sincronizzazione via radio degli orologi delle loro navi. Poi riferì del raggio d'azione, sempre crescente, della Torre stessa: negli ultimi giorni le truppe di Colin avevano ricevuto con successo segnali a Villejuif, 8 chilometri dalla Torre; a Mehun, a 48 chilometri di distanza; e proseguì fino al trionfo di metà giugno, quando gli ingegneri avevano catturato un segnale a 166 chilometri di distanza da Champs de Mars. Un raggio d'azione ancor maggiore sembrava possibile. La sperimentazione sulle navi era stata avviata con successo il 9 giugno. "La commissione, immediatamente dopo le spiegazioni di Monsieur Colin, mise in funzione l'apparato." Una volta pronti amperometro, ondometro e ricevitore, la commissione assistette con esultanza a una radiotrasmissione perfetta (pura e stabile) del segnale orario. Poincaré fece pressioni sulla Camera dei Deputati perché fossero istituiti servizi radiotelefonici commerciali e perché venissero immediatamente stanziati fondi per trasformare la Torre Eiffel nel più grande sincronizzatore mondiale del tempo. L'approvazione arrivò il 17 luglio 1909.⁹⁵

Esattamente una settimana dopo, il 24 luglio, Poincaré diede gli ultimi ritocchi al suo discorso d'apertura per il convegno dell'Associazione francese per l'avanzamento della scienza, a Lille. Ai primi di agosto, quando entrò nel Grand Théâtre della città per tenere la sua conferenza (con diverse modifiche rispetto a quella di Göttingen) e per ricevere la *Grande Médaille d'Or*, trovò l'élite cittadina riunita per sentirlo parlare della nuova fisica. Ancora una volta, sottolineò l'importanza del principio di relatività, la centralità dell'ingegnoso "tempo locale" di Lorentz, e la necessità di una coordinazione telegrafica del tempo che facesse uso della "modernissima" tecnologia senza fili. Poincaré introdusse poi, come aveva fatto in precedenza, "un'altra ipotesi" (oltre, cioè, a quella del principio di relatività e a quella del "tempo apparente"). La terza assunzione era la contrazione di Lorentz: un'idea "più sorprendente, molto più difficile da accettare, che contrasta fortemente con il nostro modo di pensare abituale". Un oggetto in moto attraverso l'etere subiva una contrazione nella direzione del moto. A causa della sua orbita intorno al Sole, la Terra si sarebbe compressa nella direzione del suo moto di circa $1/200.000.000$ del suo diametro. Ciò nonostante, sottolineava Poincaré, nel sistema di riferimento di un osservatore in moto, il rallentamento del "tempo locale" e la contrazione della "lunghezza apparente" si compensavano in modo così preciso che non vi sarebbe stato alcun modo, per l'osservatore in moto, di scoprire che egli si stava effettivamente muovendo.⁹⁶

Quella di Poincaré è una descrizione del mondo che somiglia a quella di Einstein per quanto riguarda ciò che vede l'osservatore in moto, ma ne differisce per il modo in cui questo fenomeno viene spiegato. In quella sede, nell'agosto nel 1909, Poincaré conservava il suo etere (sempre meno fisico), laddove Einstein non perdeva occasione di polemizzare contro quella che considerava un'entità antiquata e ridondante. Poincaré introduceva la contrazione di Lorentz come un'ipotesi separata; Einstein la derivava dalla sua definizione del tempo. Poincaré difendeva il venerabile "tempo locale" di Lorentz e le sue "lunghezze apparenti", sebbene l'uso che faceva di

questi termini non fosse identico a quello del fisico olandese: Poincaré trattava le lunghezze e i tempi apparenti come grandezze osservabili, mentre Lorentz continuava a parlarne come delle finzioni. Per Einstein, di contro, vi era semplicemente “un tempo per un particolare sistema di riferimento”: il tempo di un sistema era altrettanto “vero” o “reale” di quello di un altro. Non si trattava affatto di finzioni. E non vi era alcun etere. Non vi era nulla da “spiegare” nell’incapacità da parte di un osservatore di rilevare il proprio moto uniforme. Nessuna distinzione tra il “vero” e l’“apparente”. Per quanto riguarda ciò che poteva essere osservato, per anni Poincaré era stato altrettanto chiaro di Einstein sul fatto che per *qualsiasi* osservatore in moto uniforme *tutti* i fenomeni “sono in ottimo accordo con il principio di relatività”.⁹⁷

Dal 1908 al 1910 l’interesse di Poincaré per la simultaneità continuò a saltare dalla relatività all’ancora giovane tecnologia delle trasmissioni radio, e viceversa. Fatto fronte a un’inondazione del loro quartiere generale, causata da uno straripamento della Senna, le truppe del tempo dell’esercito francese cominciarono a trasmettere via radio la simultaneità dalla Torre Eiffel il 23 maggio 1910, e i loro distinti segnali potevano essere colti nell’etere (si fa per dire) dal Canada fino al Senegal.⁹⁸ In un primo tempo, i segnali seguivano l’ora di Parigi; solo l’anno successivo, il 9 marzo 1911, la Francia accettò di correggere i propri orologi (e quelli dell’Algeria) dei 9 minuti e 21 secondi che li separavano da Greenwich. Charles Lallemand, che aveva militato a fianco di Poincaré nella varie campagne sul tempo e sulla longitudine (Quito, il tempo decimale, i fusi orari), vide l’opportunità di mettere in pratica l’unificazione del tempo. La confluenza di orologi, radio e cartografia si era finalmente realizzata.

Ancora prima che la stazione della Torre Eiffel fosse inaugurata, gli uomini della longitudine francesi avevano cominciato a usare i segnali radio per correggere le loro mappe, a cominciare da Montsouris, Brest e Bizerte; a fare progetti per l’uso della telegrafia militare e a pianificare la coordinazione del tempo via radio per elaborare mappe delle colonie francesi. Ben presto avviarono una collaborazione con le loro controparti americane per scambiare segnali tra la Torre Eiffel e il trasmettitore di Arlington (Virginia) con precisione sufficiente a correggere il tempo impiegato dal segnale per attraversare l’Oceano. Era una realizzazione in pompa magna della sincronizzazione dei segnali luminosi che Poincaré aveva iscritto prima nella sua metafisica della simultaneità e poi nella sua fisica del tempo locale. Dell’argomento si occuparono anche le riviste popolari: “Sebbene le onde radio viaggino nello spazio approssimativamente alla velocità della luce, vi è un lieve ma apprezzabile ritardo [...] tra il momento in cui il segnale inizia il suo viaggio [...] e quello in cui viene ricevuto”. Quando gli americani formularono i protocolli sperimentali nel 1912, scoprirono che i francesi avevano già risolto il problema, usando il metodo di coincidenza che la commissione di Poincaré aveva proposto diversi anni prima. “Ecco”, scrisse un giornale americano, “una splendida soluzione.”⁹⁹ La tecnologia senza fili aveva reso possibile la sincronizzazione del mondo in tutte le direzioni, a distanze molto grandi, con una precisione praticamente illimitata. Lallemand e i suoi alleati nella campagna per la longitudine speravano di coordinare Parigi con altri trasmettitori, che ricevevano il segnale orario da un aristocratico consorzio di osservatori, in modo da “cancellare ogni sembianza di un’ora nazionale”. Ministri,

direttori di osservatori e autorità della longitudine diedero la loro approvazione: l'ideale francese di razionalità avrebbe realizzato un sistema internazionale, perfettamente coordinato, di cui la Francia avrebbe occupato il vertice, sebbene con una certa mancanza di autocritica.¹⁰⁰ Ancora una volta, il vero trionfo sarebbe stata una convenzione in tutti i sensi, in grado di coronare la lunga serie di conferenze e di accordi internazionali per stabilire il metro, l'ohm, il meridiano fondamentale, incluso il tentativo abortito di creare una razionalità universale a partire dal secondo decimalizzato.

Mentre gli scienziati francesi cablavano la Torre Eiffel per allineare le lancette degli orologi in tutta Europa, i britannici rimanevano in silenzio, rifiutandosi di costruire un trasmettitore per conto loro. Stando a uno storico di Greenwich, i telegrafisti e gli astronomi imperiali ritenevano che i servizi francesi di sincronizzazione del tempo via radio, insieme con altri analoghi servizi stranieri, fossero utili in periodo di pace (i britannici installarono subito ricevitori a Greenwich). Ma in guerra, secondo loro, nessuno avrebbe trasmesso segnali orari via radio.¹⁰¹ Questa posizione calcolata, pragmatica, era coerente con il modo in cui i britannici avevano costruito e controllato la loro rete internazionale di cavi. Dal canto suo, Poincaré non era mai stato solo nelle preoccupazioni patriottiche circa la segretezza delle comunicazioni via radio. Aveva sottolineato questo aspetto nel suo primissimo articolo (1902) sulla nuova tecnologia, e in tutti gli incontri interministeriali che aveva presieduto; l'estrema delicatezza della "corrispondenza segreta" era un argomento su cui la commissione tornò spesso in vista delle conferenze internazionali del 1912 sul tempo e sulla radiotelegrafia. Ripetutamente i rappresentanti ministeriali ammonirono che i radiotrasmettitori tedeschi e britannici avevano preso in contropiede e surclassato quelli francesi nell'Africa delle colonie.¹⁰² Rendere la Torre Eiffel il faro del tempo mondiale (e il punto zero delle comunicazioni con l'impero) era dunque uno sforzo insieme pratico e simbolico, militare e civile, nazionalista e internazionalista. Nei villaggi del XIV secolo gli orologi erano stati montati sui campanili per regnare su tutti quelli che ne avessero udito lo scandire del tempo; Poincaré voleva far risuonare attraverso l'etere il radio-orologio della Torre Eiffel per dare eco in tutto il mondo all'autorità scientifica francese.

Che si servissero di linee telegrafiche o senza fili, i sistemi centrati per la diffusione del tempo erano la gloria delle Grandi Potenze europee e non solo. Si pensi all'unificazione dell'impero tedesco voluta da von Moltke e incarnata dalla grandiosa *primäre Normaluhr* allo *Schlesischer Bahnhof* di Berlino, o dal barocco ed elegante *horloge-mère* di Neuchâtel. Oppure alla modernità ingegneristica della Torre Eiffel trasformata nell'avamposto delle nuove tecnologie radio per la trasmissione del tempo; alla rete britannica di cavi che allungava i suoi tentacoli di rame da Greenwich per avviluppare le colonie intercontinentali. O, ancora, ai potenti radiotrasmettitori della marina americana che dirigevano le navi in alto mare e fissavano le posizioni delle stazioni di terra, al culmine di una diplomazia che non disdegnava le minacce.

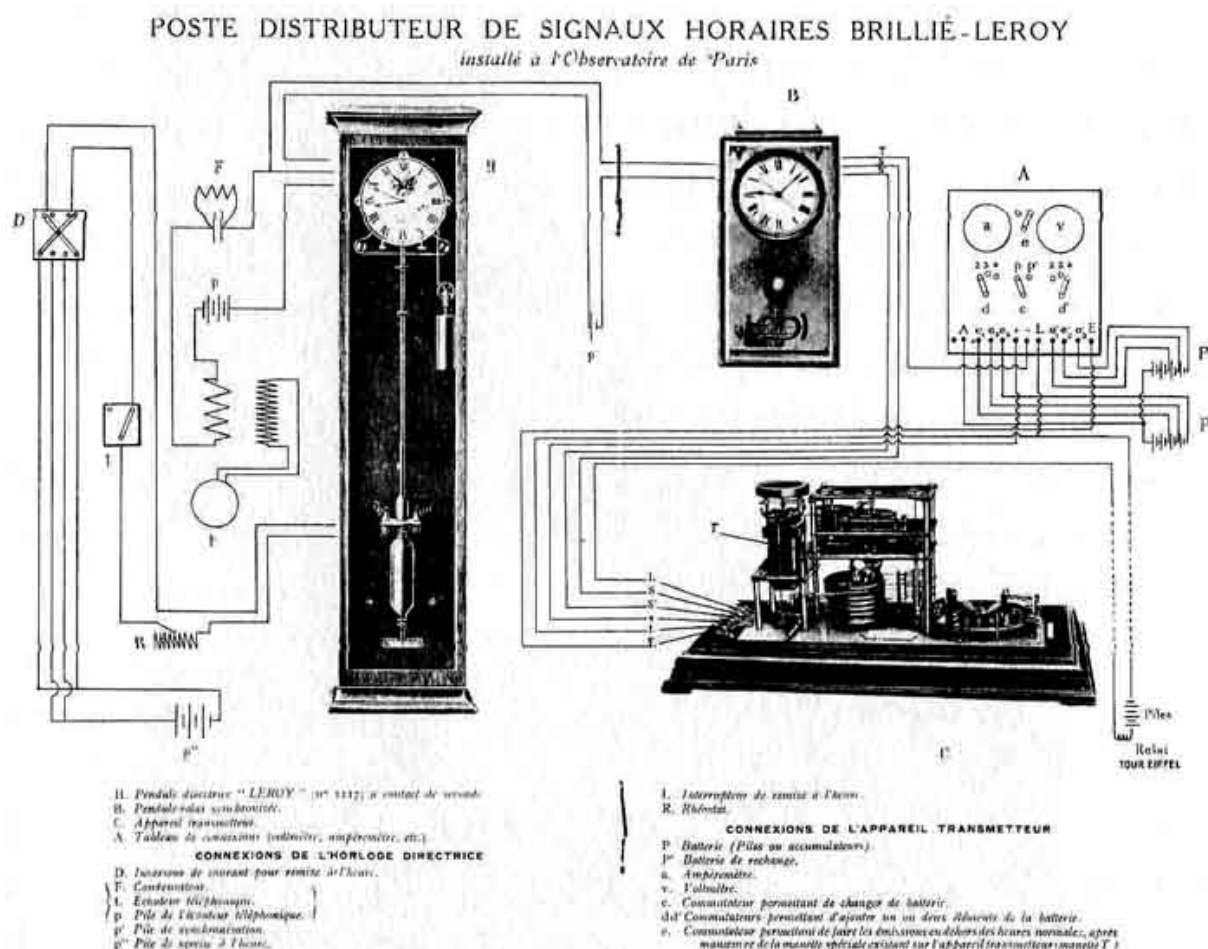


Figura 5.14 Rappresentazione schematica della Stazione Eiffel. La radio militare salvò la Torre Eiffel, sebbene gli sforzi compiuti da Poincaré per utilizzarla come un'enorme antenna di un sistema di trasmissione del tempo produssero alla fine un servizio utile sia ai civili sia alle forze armate. Questa figura ritrae l'orologio maestro (nell'Osservatorio di Parigi) e i suoi collegamenti al trasmettitore radio della Torre. *Fonte:* L. Leroy, "L'heure" (s.d.), pp. 14-15.

Questa spirale sempre più ampia di tecnologia, simboli e fisica astratta si sviluppò verso l'esterno. Telegrafisti, geodetici e astronomi *compresero* la coordinazione degli orologi di Poincaré-Einstein grazie alla quasi letterale e quotidiana pratica di coordinazione degli orologi con o senza fili. All'École Supérieure des Postes et Télégraphes, dove Poincaré insegnava sin dal 1902, le reti telegrafiche e senza fili non erano *mai* soltanto delle metafore, bensì rappresentavano il cuore degli affari della compagnia. Il 19 novembre 1921, il fisico Léon Bloch spiegò il significato del tempo nel corso di un'importante conferenza sulla teoria della relatività, facendo ricorso a una tecnologia che gli studenti e i colleghi della Facoltà che costituivano il suo uditorio conoscevano come il palmo delle loro mani:

Che cos'è che chiamiamo tempo sulla superficie della Terra? Prendete un orologio che fornisce l'ora astronomica - il moderno pendolo dell'Osservatorio di Parigi - e trasmettete quest'ora a siti distanti per mezzo di un dispositivo senza fili. In che cosa consiste la trasmissione? Consiste nell'osservare, presso le due stazioni che devono essere sincronizzate, il passaggio di un comune segnale luminoso o di un segnale hertziano.¹⁰³



Figura 5.15 Il tempo della Radio Eiffel (1908 circa). La stazione radio della Torre Eiffel era situata nelle poco attraenti baracche che si vedono ai piedi della struttura. *Fonte:* Boulanger e Ferrié (1909, p. 429).

All'epoca della conferenza di Bloch, la coordinazione degli orologi mediante lo scambio di onde elettromagnetiche era una *pratica* di routine. Per un intero decennio poste e telegrafi, il *Bureau des Longitudes* e l'esercito francese avevano corretto abitualmente segnali orari in una miriade di sincronizzazioni a distanza.¹⁰⁴ La coordinazione del tempo di Einstein e di Poincaré era nata in un mondo di macchine e veniva chiaramente recepita in tal senso, non solo in Francia. In Germania, Cohn, il fisico sperimentale trasformatosi in teorico, si era impadronito della sincronizzazione per mezzo di segnali luminosi poco dopo Poincaré, e non perse tempo, dopo l'articolo di Einstein del 1905, a usare raffigurazioni di orologi e vari modelli per pubblicizzare la nuova simultaneità. A Cambridge, in Inghilterra, furono i fisici sperimentali (non i teorici di orientamento più matematico) a buttarsi sulle procedure di coordinazione degli orologi. L'identificazione della teoria con meccanismi e dispositivi fu una costante nella carriera del fisico teorico americano John Wheeler, sin da quando aveva armeggiato con radio ed esplosivi durante il periodo di apprendistato con ingegneri e fisici-ingegneri nella Seconda Guerra Mondiale. Nel 1963 scrisse insieme con Edwin Taylor un testo, ampiamente adottato, *Spacetime Physics*, all'inizio del quale faceva riferimento a una macchina universale, illustrandone il funzionamento (vedi figura 5.16).

Le macchine collegarono sempre più strettamente mappe e orologi. All'inizio della Seconda Guerra Mondiale, gli scienziati del MIT perfezionarono le procedure di coordinazione del tempo per sviluppare il sistema *Long Range Aid to Navigation* (LORAN) che guidò le navi alleate attraverso il Pacifico. Nel dopoguerra, la marina e l'aviazione americane sfornarono un progetto dopo l'altro con nomi come "Transit" e "Progetto 612B". Con l'intensificarsi della guerra fredda, l'esercito americano richiese sistemi di determinazione della posizione sempre più precisi per correggere la mira dei missili balistici intercontinentali e per guidare i soldati attraverso le giungle inesplorate del Sud-Est asiatico.

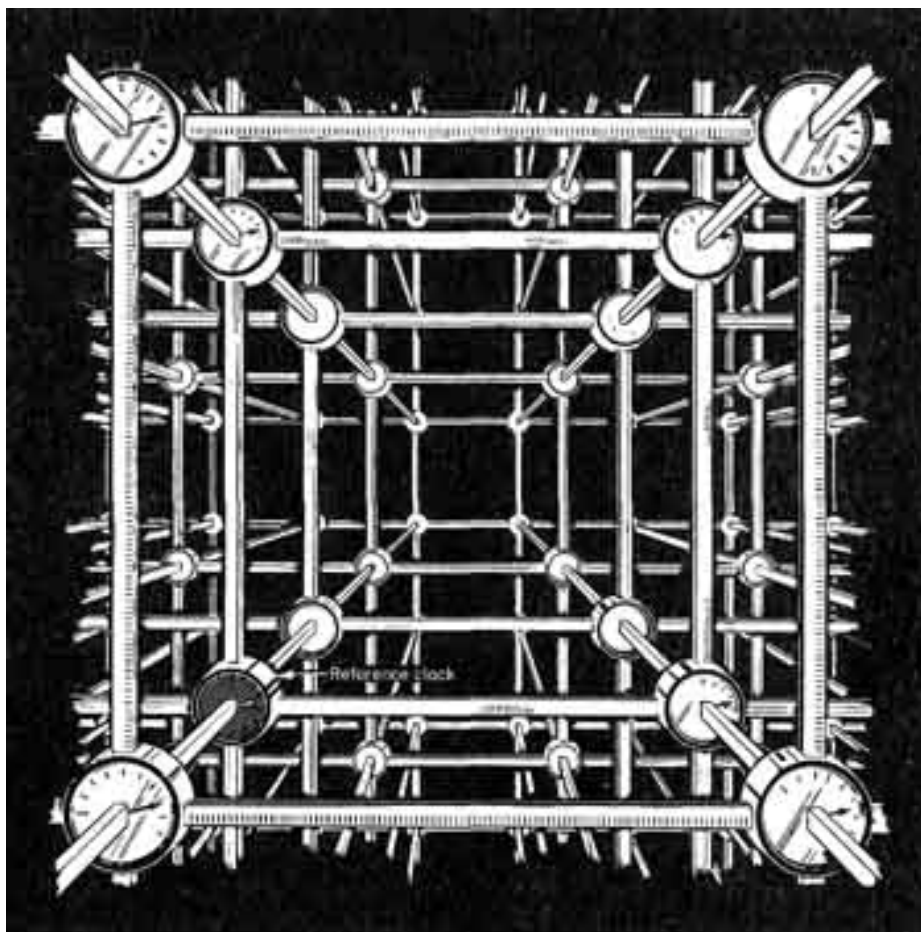


Figura 5.16 Il reticolo dello Spazio e del Tempo. In molte discussioni sulla relatività si è persa traccia delle procedure sistematiche mediante le quali venivano rappresentate le coordinate dello spazio e del tempo. Queste ultime sono rese visibili in una fantasiosa macchina illustrata nel libro di testo sulla relatività di Edwin Taylor e John Wheeler. *Fonte:* Taylor e Wheeler (1966, p. 18).

Durante gli anni Sessanta del Novecento, i progettisti della difesa americana trasformarono i satelliti in stazioni radio in grado di trasmettere segnali orari alla Terra. Questi trasmettitori orbitanti erano guidati da orologi più accurati e stabili, che segnalavano l'ora esatta leggendola dapprima dai cristalli di quarzo e poi dalle oscillazioni del cesio di orologi atomici spaziali. Quando il sistema *Global Positioning System* (GPS) entrò in funzione, negli anni Novanta del Novecento, i suoi ventiquattro orologi sincronizzati via satellite battevano il tempo con una precisione che Poincaré non avrebbe potuto realisticamente immaginare nelle sue conferenze di Göttingen o di Lille del 1909: 50 miliardesimi di secondo al giorno, che significava una risoluzione sulla superficie della Terra di poco più di quindici metri. Per certi versi, il sistema ricordava quello della Torre Eiffel: anche il GPS usava una specie di metodo di coincidenza per sincronizzare gli orologi. Ma ora il satellite trasmetteva una stringa di numeri *pseudo-random* (cioè sufficientemente *random* per i suoi scopi) lunga sei mila miliardi di cifre. Il ricevitore confrontava questa stringa con quella, identica, che aveva registrato nella memoria interna. Determinando lo scarto tra le due successioni, i circuiti logici del ricevitore potevano stabilire la differenza oraria, e conoscendo la velocità della luce, la distanza del ricevitore dal satellite. Se il ricevitore era già sincronizzato, bastavano solo tre satelliti per fissare la sua posizione nello spazio a tre dimensioni ma, dato che un ricevitore mobile normalmente non

disponeva dell'ora esatta, era necessario un quarto satellite (per regolare l'ora).

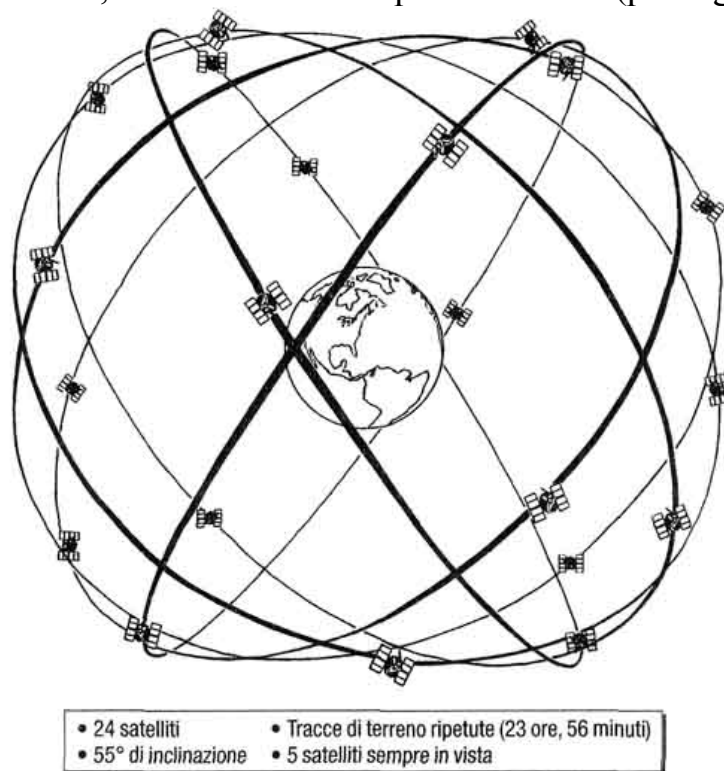


Figura 5.17 Global Positioning System. Non diversamente dalla Torre Eiffel di Poincaré, i satelliti GPS della fine del XX secolo fornirono una misurazione precisa del tempo (e dunque della posizione) per usi sia militari sia civili. Le correzioni del software e dell'hardware richieste dalla teoria della relatività di Einstein erano incorporate in questa macchina orbitante. Il risultato è una macchina teorica da dieci miliardi di dollari che abbraccia l'intero Pianeta. *Fonte:* RAND Corporation, RAND, MR614-A2.

Nell'interscambio tra ingegneria, filosofia e fisica, la relatività era diventata una tecnologia destinata a spodestare rapidamente i tradizionali strumenti di rilevazione. Di fatto, elaborando i dati *a posteriori*, e usando le misurazioni (ottenute con il GPS) di una posizione nota per identificare errori transitori, i fisici erano in grado di impiegare il sistema GPS per determinare una seconda locazione sconosciuta con un margine d'errore di millimetri. Il sistema era diventato così accurato da rivelare persino che parti "fisse" delle terre emerse del nostro Pianeta erano, in realtà, in movimento; che vi era un'interminabile deriva dei continenti sulla superficie del Globo in prossimità delle tettoniche a zolle. Al posto dei "continenti assoluti", i geologi chiedevano un nuovo sistema universale di coordinate che non fosse ancorato a una qualsiasi delle caratteristiche particolari della superficie terrestre, bensì ruotasse, visto con l'occhio immaginativo della scienza, in silente coordinazione con l'interno del Pianeta. Il GPS fu ben presto in grado di far atterrare gli aeroplani, guidare i missili, indicare la strada agli elefanti e dispensare consigli ai guidatori di automobili familiari.

La coordinazione relativistica del tempo era di estrema importanza per tutti questi scopi. Secondo la relatività, gli orologi dei satelliti che orbitavano intorno alla Terra a 12.500 miglia all'ora erano rallentati di 7 milionesimi di secondo al giorno. Persino la teoria della relatività generale (la teoria della gravitazione di Einstein) dovette essere programmata nel sistema. A dodicimila miglia di distanza nello spazio, dove

orbitavano i satelliti, la relatività generale prediceva che il campo gravitazionale più debole avrebbe fatto andare gli orologi più veloci (relativamente alla superficie della Terra) di 45 milionesimi di secondo al giorno.¹⁰⁵ Prese insieme, le due correzioni ammontavano a una sbalorditiva correzione complessiva di 38 milionesimi di secondo (ovvero 38.000 miliardesimi di secondo) al giorno in un sistema GPS il cui grado di precisione doveva arrivare sino a 50 miliardesimi di secondo al giorno. Prima che nel giugno 1977 venisse varato il primo orologio atomico al cesio, alcuni ingegneri esperti del sistema GPS nutrivano tali dubbi circa questi enormi effetti relativistici da insistere che l'orologio del satellite trasmettesse i propri segnali orari in forma "grezza". Il meccanismo di correzione relativistica che si trovava a bordo rimase inattivo. Arrivò quindi il segnale, che durante le prime ventiquattro ore aveva già quasi guadagnato i 38.000 miliardesimi di secondo predetti. Dopo venti giorni in cui l'orologio continuava a correre in questo modo, il controllo di Terra ordinò che i sintetizzatori di frequenza fossero riattivati, per correggere il segnale radiotrasmesso.¹⁰⁶ Senza la correzione relativistica vi sarebbero voluti meno di due minuti perché il sistema GPS superasse il margine d'errore consentito. Dopo un solo giorno, i satelliti avrebbero fatto piovere sulla Terra posizioni erranee, con una deviazione di quasi sei miglia. Automobili, bombe, aeroplani e navi avrebbero naturalmente cominciato a cambiare selvaggiamente direzione. La relatività - o meglio, le relatività (speciale e generale) - erano entrate in un apparato che stendeva una rete invisibile sul Pianeta. Le teorie si erano fatte macchine.

Le proteste simboliche e fisiche contro il tempo globalizzato, controllato dagli strumenti, che imitavano i loro precedenti storici, non si fecero attendere. In questo caso un gruppo di contestatori sollevò concrete obiezioni contro l'uso del GPS nelle armi di precisione, nella guerra anti-insurrezionale, nelle azioni di polizia e nella progettazione di armi nucleari. Poco prima dell'alba del 10 maggio 1992, due attivisti di Santa Cruz (California) si travestirono da lavoratori della Rockwell International e irrupero nella sede di Seal Beach (California), dove la compagnia stava approntando i satelliti NAVSTAR GPS per l'aviazione. Con sessanta colpi d'ascia su un satellite già ultimato, causarono un danno di circa tre milioni di dollari. Mentre stavano per attaccare un secondo satellite, la sicurezza della Rockwell li bloccò e, armi in pugno, li consegnò alla polizia. I due militanti della brigata Harriet Tubman-Sarah Connor - dai nomi dell'eroina della metropolitana e di quella di *Terminator 2*. *Il giorno del giudizio* - si dichiararono colpevoli e rimasero in prigione per due anni.¹⁰⁷ Nel 1996 lo FBI dichiarò che "Unabomber", noto per aver compiuto attentati per oltre diciotto anni contro esponenti della comunità scientifica, si era ispirato a un altro anarchico del passato, quello dell'*Agente Segreto* di Joseph Conrad, un libro che aveva letto dozzine di volte.¹⁰⁸ Le macchine del tempo, della narrativa e dell'alta tecnologia (oltre che i loro avversari) attraversavano e riattraversavano l'asse del tempo globale.

Facendo risuonare i loro battiti dall'alto - dalle guglie delle chiese, dagli osservatori e dai satelliti - gli orologi sincronizzati non si erano mai tenuti troppo lontani dalle questioni politiche - negli anni Novanta sia dell'Ottocento sia del Novecento. Le macchine del tempo universale di Poincaré e di Einstein misero insieme tecnologia, filosofia, politica e fisica. Ma forse dovremmo presentare le cose in maniera diversa. Le macchine per la sincronizzazione del tempo non appartennero mai del tutto

all'arcana sfera dell'astrazione o a quella muta della materialità. La coordinazione è inevitabilmente astratta e concreta insieme.

Tra fine Ottocento e inizio Novecento, l'Europa e il Nord America furono attraversati dalle reti della coordinazione: ragnatele di strade ferrate, di linee telegrafiche e di determinazioni di longitudine, sotto l'attenta sorveglianza di un sistema di orologi sempre più universali. Letto in tale contesto, il sistema di coordinazione introdotto da Poincaré e da Einstein fu una macchina mondiale: una vasta rete, prima soltanto fantasticata, di orologi sincronizzati che, nel giro di un secolo, subì una profonda metamorfosi, passando dai cavi sottomarini trasportati da navi a una rete di microonde trasmesse dai satelliti. La teoria della relatività speciale di Einstein sarebbe in questo senso sempre stata una macchina, certo immaginaria, ma sospesa in un intrico del tutto *reale*, e in costante evoluzione, di cavi e impulsi che sincronizzavano il tempo mediante lo scambio di segnali elettromagnetici.

Una simile lettura *tecnologica* di uno sviluppo altamente *teorico* suggerisce un'osservazione finale. Gli studiosi sono rimasti a lungo colpiti dal fatto che lo stile della memoria di Einstein "Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento" non assomigli affatto a quello di un ordinario articolo di fisica. Non vi sono in pratica riferimenti ad altri autori; le equazioni sono pochissime; non si fa alcuna menzione di nuovi risultati sperimentali e si ritrovano molte osservazioni semi-scherzose su semplici processi fisici che sembrano assai distanti dalla ricerca scientifica più avanzata.¹⁰⁹ Basta prendere un numero qualsiasi degli *Annalen der Physik* per rendersi conto che quasi ogni articolo ha una forma assai diversa, caratterizzata da un punto di partenza standard: un problema sperimentale o una correzione di calcoli. I tipici articoli di fisica erano e sono pieni di riferimenti ad altri articoli; il lavoro di Einstein non è di questo stampo. Può anche darsi che l'arroganza del giovane Albert avesse preso il sopravvento, che egli avesse fatto a meno della formalità delle note, modificato la forma usuale dell'introduzione e ridisegnato la tipica conclusione per ragioni idiosincratiche, di gusto personale. La fiducia in se stesso non mancava certo a Einstein.

Ma se provate a leggere il suo contributo con gli occhi del mondo dei brevetti, improvvisamente l'articolo vi appare molto meno idiosincratico, almeno nello stile. I brevetti sono caratterizzati *proprio* dal rifiuto di inserirsi nel contesto di altri brevetti, cui rimandare nelle note. Se il vostro scopo è quello di dimostrare la completa originalità della vostra nuova macchina (e dall'originalità dipende il brevetto), difficilmente potrete far peggio che inondare l'ispettore con una pioggia di riferimenti a lavori precedenti. Nei circa cinquanta brevetti svizzeri rilasciati negli anni intorno al 1905, per esempio (essi sono tipici), non vi è un singolo riferimento ad altri brevetti, né ad articoli scientifici o tecnici.¹¹⁰ Ovviamente, tale confronto non *dimostra* che fu per questo motivo che Einstein non citò altri autori nella sua memoria. Ma può aiutare a spiegare in maniera plausibile perché un giovane funzionario che si occupava di brevetti, pressato dalla fretta, potesse non sentirsi costretto a collocare il proprio lavoro nel contesto degli articoli di un Lorentz, di un Poincaré, di un Abraham o di un Cohn. Dopo tre anni passati a valutare centinaia di brevetti in conformità alle rigorose richieste di Haller circa l'analisi e la presentazione, le specificità di quell'attività erano diventate, per Einstein, uno stile di

vita, uno stile di lavoro e (come lui stesso suggerì a Zangger) anche uno stile di scrittura.¹¹¹

Analogamente, la formulazione relativamente accessibile che Einstein diede del problema dello spazio e del tempo poteva essere come una seconda natura per un esaminatore di brevetti. Stando alla legge svizzera (e non solo), la descrizione di un'invenzione doveva essere "rappresentabile attraverso un modello, la sua unicità deve essere difesa adeguatamente, e le conseguenze del brevetto devono essere esposte in modo non ambiguo e ordinate in maniera chiara, così che il tutto possa essere facilmente compreso da tecnici qualificati oltre che da specialisti".¹¹² Nei suoi articoli teorici scritti intorno al 1905 Einstein concludeva con una serie di affermazioni sulle conseguenze sperimentali. Nel caso della memoria sulla relatività, terminava con una serie di capoversi numerati che solo occasionalmente comparivano negli articoli di fisica, ma che erano del tutto standard nella sezione "tesi" che, secondo la legge svizzera, doveva essere presente alla fine di ogni richiesta di brevetto.¹¹³ Colpisce pure che, dal 1905, Einstein cominciò a descrivere (e qualche volta anche a disegnare) dispositivi, non solo per la sua piccola *Maschinchen* elettrostatica, ma anche come elementi chiave delle sue argomentazioni teoriche.

Il generale feldmaresciallo von Moltke avrebbe apprezzato l'ironia? Il giovane Albert, che aveva rinunciato alla cittadinanza tedesca irritato dalla "mentalità da gregge" dello stato militarista prussiano, era giunto all'età di ventisei anni a completare, per certi versi, il progetto dell'anziano ufficiale.¹¹⁴ Il tempo si identificava ormai sempre di più con la sua misurazione e l'*Einheitszeit* era diventata un mezzo per l'imposizione tecno-politica della simultaneità procedurale a distanza in tutto il mondo. Il sistema di sincronizzazione degli orologi di Einstein, come i suoi più terreni predecessori, riduceva il tempo alla sincronicità procedurale, collegando tra loro gli orologi per mezzo di segnali elettromagnetici. Anzi, lo schema einsteiniano di unificazione degli orologi si spinse molto più lontano, andando oltre le città, i paesi, gli imperi, i continenti e lo stesso Globo, sino a raggiungere l'intero Universo infinito e ormai pseudo-cartesiano.

Ma qui l'ironia si capovolge. Benché la sua procedura di coordinazione degli orologi poggiasse su decenni di intensi sforzi per l'unificazione elettromagnetica del tempo, Einstein aveva di fatto rimosso l'elemento decisivo nella visione di von Moltke. Nell'immaginario e infinito sistema einsteiniano non vi era alcuna *primäre Normaluhr*, nazionale o regionale, alcun *horloge-mère*, orologio maestro. Si trattava di un sistema coordinato di estensione spaziotemporale infinita, ma tale infinito non aveva centro - nessun *Schlesischer Bahnhof*, collegato ai cieli dall'osservatorio di Berlino e ai confini dell'impero dalle reti ferroviarie. Estendendo infinitamente quell'unitarietà del tempo che era stata originariamente concepita in conformità agli imperativi dell'unità nazionale tedesca, Einstein aveva portato a termine e insieme sovvertito il progetto. Aveva aperto la "zona di unificazione", ma nel fare questo aveva non solo rimosso Berlino dal suo ruolo di *Zeitzentrum*, ma progettato una macchina che mandava a gambe all'aria la stessa categoria metafisica di centralità.

Il tempo assoluto era morto. Una volta che la coordinazione del tempo era definita *solo* mediante lo scambio di segnali elettromagnetici, Einstein poteva completare la propria descrizione della teoria elettromagnetica dei corpi in movimento, senza alcun

riferimento spaziale o temporale ad alcun particolare sistema di riferimento in quiete, etere o Terra che fosse. Non rimaneva alcun centro, neppure la centralità residuale di quello speciale sistema di riferimento in quiete, l'etere, che Poincaré aveva voluto conservare. Einstein aveva costruito la sua macchina della relatività astratta dal mondo materiale degli orologi sincronizzati.

6

IL POSTO DEL TEMPO

SENZA LA MECCANICA

Nel dicembre 1907, il funzionario dell'Ufficio brevetti Albert Einstein non era più un oscuro burocrate. Minkowski gli scriveva per avere un estratto dell'articolo sulla relatività, congratulandosi del successo. Wilhelm Wien lo interrogava sulla possibilità di trasmettere segnali a velocità superiori a quella della luce. Max Planck e Max von Laue conversavano volentieri con lui; uno dei migliori fisici sperimentali tedeschi, Johannes Stark, gli commissionò un articolo sul principio di relatività. Einstein non poté più omettere con disinvoltura il riferimento ai lavori dei suoi contemporanei; era ormai pienamente inserito nella comunità dei fisici e le note dei suoi articoli riflettevano la nuova situazione. I teorici Emil Cohn e H.A. Lorentz vennero citati nella bibliografia dello scritto sulla relatività del 1907, così come gli sperimentali Alfred Bucherer, Walter Kaufmann, Albert Michelson ed Edward Williams Morley.¹ Diversamente dal 1905, Einstein fece persino esplicito riferimento al “tempo locale” di Lorentz. Tuttavia, il nome di Poincaré non compariva in nessuna delle trentadue note. Su di esso Einstein continuava a mantenere il silenzio più completo.²

Il saggio del 1907 muoveva *dall'assunto* che non vi fosse alcuna differenza misurabile tra i processi fisici osservati quando erano in quiete e gli stessi processi fisici osservati all'interno di un vagone ferroviario chiuso in moto uniforme. Einstein prendeva come punto di partenza ciò che Poincaré, Lorentz e altri illustri fisici prima di lui si erano sforzati incessantemente di *dimostrare*. Poincaré e gli altri si erano chiesti *come mai* gli elettroni in moto nell'onnipervasivo etere risultassero appiattiti, *come mai* l'elettrone restasse stabile nonostante la sua distorsione e *come* reagisse l'etere quando era attraversato da corpi elettrificati e dalla luce. Nell'articolo di Einstein, però, non vi era alcuna traccia dell'intero lavoro svolto dall'illustre francese. Non solo non faceva menzione delle parti sulla struttura dell'etere e dell'elettrone: era assente anche qualsiasi riferimento alla semplificazione e alla correzione da parte di Poincaré delle trasformazioni di Lorentz, ai suoi notevoli progressi matematici (inclusa l'introduzione dello spazio-tempo quadrimensionale), alla sua formulazione di una fisica dei principi e, quella che era forse l'omissione più clamorosa, persino alla sua interpretazione del “tempo locale” di Lorentz come convenzione basata sulla coordinazione di orologi mediante lo scambio di segnali luminosi. Neppure un cenno.

Da Parigi, Poincaré fece eco al silenzio di Einstein. Certo, nel 1905 il giovane

Albert era per lui un perfetto sconosciuto; va da sé che non lo citasse nella memoria del 1906 “Sulla dinamica dell’elettrone”. Ma il silenzio di Poincaré si protrasse per altri sette anni, nonostante che sia lui sia Einstein avessero redatto numerose pubblicazioni su questioni attinenti allo spazio, al tempo e al principio di relatività. Non era certo un caso, visto che in quel periodo il nome di Einstein era sulla bocca di tutti - inclusi Lorentz, Minkowski, Laue e Planck. A Einstein, il lavoro di Poincaré doveva essere sembrato poco pertinente: un altro dei fisici vecchia maniera che nel 1905 non era in grado di cogliere l’importanza dell’abolizione dell’etere o l’assunzione del tempo, non più distinto in “tempo reale” e “tempo apparente”, quale punto di partenza dell’intera teoria. A Poincaré, il lavoro di Einstein doveva essere apparso poco originale, in grado forse di offrire argomenti euristici per la derivazione delle trasformazioni di Lorentz, ma incapace di affrontare le questioni fondamentali della fisica: l’etere e la struttura dell’elettrone.

Tuttavia, se è vero che Einstein non fosse in alcun modo poco originale, è altrettanto vero che Poincaré non potesse essere liquidato come mero conservatore. Al contrario: nella conferenza di Göttingen del 1909, egli salutò con entusiasmo la nuova meccanica che emergeva dall’elettrodinamica dei corpi in movimento; del resto, già a St. Louis (1904) aveva annunciato clamorosi cambiamenti nell’intera fisica. Al contempo, nella presentazione di Lille (1909) si riferì alla fisica classica, osservando, con una certa malinconia, come le sue marmoree colonne cominciassero a incrinarsi: “Se qualche parte della scienza sembrava solidamente fondata, questa era certamente la meccanica newtoniana; ci si appoggiava a essa con fiducia e si aveva l’impressione che non avrebbe mai potuto subire scosse. Ma le teorie scientifiche sono come gli imperi, e se Bossuet fosse qui, troverebbe senz’altro accenti eloquenti per denunciarne la fragilità”.³ Jacques-Bénigne Bossuet, insegnante del Delfino, il figlio di Luigi XIV, aveva scritto su incarico reale il suo *Discorso sulla storia universale* nel 1681. A lungo centrale nel canone della letteratura francese, la *Storia* di Bossuet doveva occupare un posto importante anche nel volume che Poincaré, insieme con i colleghi dell’Accademia delle Scienze, mise insieme nel 1912. Inteso a educare il pubblico su questioni sia scientifiche sia letterarie, esso includeva proprio quel passo in cui Bossuet ammoniva un’umanità troppo orgogliosa: “Vedete dunque passare davanti ai vostri occhi, come in un solo istante, non dico re e imperatori, ma quei grandi imperi che hanno fatto tremare l’intero Universo? Quando vedete gli Assiri, antichi e moderni, gli abitanti della Media e della Persia, i Greci e i Romani sfilare davanti a voi, uno dopo l’altro, e poi cadere, per così dire, uno sopra all’altro, questo terrificante fracasso vi fa capire che non vi è nulla di solido nelle cose umane e che l’incostanza e la perenne agitazione sono il loro vero destino”.⁴ Per Poincaré le teorie scientifiche erano come i grandi imperi di Bossuet. Per decenni aveva alimentato il confronto tra gli imperi del tempo, imbattendosi nelle convenzioni deputate ad attenuare il conflitto con una filosofia e una fisica nuove. Tuttavia, volgendo ora lo sguardo alle due grandi strutture cui aveva dedicato buona parte della vita - l’impero newtoniano e quello francese -, non poteva non guardarle con gli occhi di un uomo che aveva preso coscienza della fragilità di entrambe.

Einstein e Poincaré finalmente si incontrarono - per la prima e ultima volta - al Congresso Solvay che si svolse a Bruxelles verso la fine del 1911. Erano due

scienziati infinitamente vicini e, tuttavia, infinitamente lontani. Entrambi erano stati sin da giovani affascinati dal problema dell'elettrodinamica dei corpi in movimento; avevano edificato le loro teorie al crocevia di tecnologia, filosofia e fisica; avevano compreso l'immensa potenza del lavoro di Lorentz e posto l'accento sul gruppo di trasformazioni che ne caratterizzava la teoria; avevano considerato il principio di relatività come un fondamento costitutivo della fisica. Ma forse quello che più colpisce è che entrambi avevano insistito sul fatto che il tempo, nei sistemi di riferimento in moto, doveva essere interpretato mediante orologi sincronizzati attraverso lo scambio di segnali luminosi. Tuttavia, la distanza tra i due scienziati era altrettanto drammatica della loro vicinanza. Poincaré vedeva nei propri contributi una sorta di restaurazione del mondo, un aggiustamento, un modo di trasformare e riscrivere la fisica di Lorentz entro una meccanica nuova cui egli guardava con euforia e trepidazione insieme. Il giovane Einstein non era molto affascinato dai restauri. Fare a pezzi il vecchio era per lui un piacere tonificante. Se nella conferenza di Lille del 1909 Poincaré considerava ancora l'etere decisivo, Einstein, in un discorso, tenuto più o meno alla stessa ora, esordiva facendo riferimento a un fisico (non Poincaré) per il quale l'esistenza dell'etere "confinava con la certezza", per poi gettare rapidamente tale asserzione nel cestino della spazzatura.⁵

Non sorprende, dunque, che l'incontro tra il cinquantasettenne Poincaré e il trentaduenne Einstein non sia andato particolarmente bene. Come riferisce Maurice de Broglie: "Ricordo che un giorno, a Bruxelles, Einstein stava spiegando le sue idee quando Poincaré gli chiese: 'che meccanica usate nel vostro ragionamento?'. La risposta di Einstein: 'nessuna meccanica' sembrò sorprendere il suo interlocutore".⁶ "Sorpresa" è forse un eufemismo. Per Poincaré, la cui concezione della fisica si riduceva alla meccanica, non importa se vecchia o nuova, "nessuna meccanica" era una risposta priva di senso. La meccanica astratta, dopo tutto, era proprio quello che per lui, allievo dell'*École Polytechnique*, costituiva l'essenza stessa, il "marchio di fabbrica" di quel tipo di formazione che era unico nel mondo della Terza Repubblica francese.

Al Congresso Solvay Einstein parlò di fronte a un pubblico illustre dei quanti di luce e delle discontinuità quantistiche, e al termine della sua relazione cominciò subito il dibattito. Lorentz era presente, e vi era anche Poincaré. Einstein avviò la discussione ricordando ai colleghi che la teoria dei quanti, nella sua forma corrente, non era affatto una teoria "nell'accezione comune del termine", ma solo un utile strumento. Egli non riteneva certo che le sue osservazioni costituissero quel tipo di descrizione matematica dettagliata cui Poincaré avrebbe attribuito la dignità di "meccanica." (Pubblicandola per la prima volta sei anni prima, aveva definito la propria interpretazione dei quanti di luce come un'"euristica".) Sperava piuttosto di fornire un buon punto di partenza per una trattazione successiva e più coerente. Nel frattempo, aveva sacrificato volentieri le relazioni continue e causali che erano catturate dalle equazioni differenziali. Ma tale freddezza nei confronti dei fondamenti di una meccanica intuitiva, descrivibile in termini matematici, non era per Poincaré una faccenda di poca importanza. Riassumendo la conferenza dal suo punto di vista, lo scienziato francese doveva esprimersi senza mezzi termini. Nei suoi commenti si coglie una valutazione molto preoccupata della direzione in cui la nuova fisica, e i

nuovi fisici, si stavano muovendo:

Le nuove ricerche sembrano mettere in questione non soltanto i principi fondamentali della meccanica, ma anche qualcosa che ci appare ancora oggi inseparabile dal concetto stesso di legge naturale. Possiamo ancora esprimere queste leggi nella forma di equazioni differenziali?

Inoltre, quello che mi ha colpito nelle discussioni che abbiamo appena sentito, è vedere che la stessa teoria talvolta poggia sulla vecchia meccanica e talvolta su nuove ipotesi che la negano; non dobbiamo dimenticarci che non esiste proposizione che non possa essere facilmente dimostrata una volta che si inseriscono nella dimostrazione due premesse contraddittorie.⁷

Ecco la frustrazione repressa del maestro della “vecchia meccanica”, la costernazione di un uomo che aveva usato le equazioni differenziali per esplorare, estendere, controllare e (contro il suo stesso intento) gettare all’aria, la stabilità e la visualizzabilità della fisica newtoniana. La sua è la voce di un *savant* che aveva cercato in ogni maniera a lui nota di giungere a una “nuova meccanica.” Analogamente, aveva fatto progredire in misura significativa la teoria di Lorentz, “rigirandola in ogni direzione”, come egli stesso amava ripetere. In questo processo graduale, si era cimentato per anni con i mutamenti delle nozioni di massa, di lunghezza e, soprattutto, di tempo. Più di ogni altro Poincaré aveva insistito, nella sua matematica come nella sua filosofia, che fosse possibile passare, a seconda delle circostanze, da un linguaggio euclideo a un linguaggio non euclideo. Poco dopo il Congresso Solvay, egli contribuì persino a una migliore comprensione della nuova e sconvolgente discontinuità quantistica.

Poincaré non era un conservatore che aborrisce il cambiamento. Tuttavia, sosteneva che vi erano modi migliori e peggiori di gestire l’innovazione. Con ciò intendeva dire che la nuova fisica aveva smarrito la strada abbandonando, nella frenetica corsa verso il progresso, la base coerente e disciplinata dai principi che era propria di *qualsiasi* meccanica, di *tutte* le meccaniche. Le “oneste funzioni” e le equazioni differenziali che garantivano la causalità e l’intuizione erano andate perdute. Non si trattava di una disputa su quale legge si adattasse meglio ai fenomeni. Era un abisso che, per Poincaré, vedeva Einstein e i suoi sostenitori stare dalla parte sbagliata rispetto al “concetto stesso di legge naturale”. Prendendo a prestito l’espressione da lui usata in precedenza, la fisica quantistica di Einstein sembrava più adatta a un museo teratologico che alla scienza.

La reazione di Einstein all’incontro con Poincaré fu pronta, e non molto lusinghiera. Poche settimane dopo il Congresso Solvay confidò le sue impressioni a un amico: “H.A. Lorentz è una meraviglia di intelligenza e tatto. E un’opera d’arte vivente! A mio modo di vedere, era il più intelligente tra i fisici teorici presenti. Poincaré era in generale del tutto ostile e, nonostante la sua acutezza, dimostrava scarsa comprensione della situazione”.⁸ Le loro menti non si erano certo incontrate sulla teoria della relatività. Le divergenze sui quanti allargarono lo scisma.

Tuttavia, Poincaré tornò a Parigi dal Congresso Solvay profondamente impressionato da Einstein. Nel novembre 1911, Einstein, da poco trasferitosi a Praga, era candidato per una cattedra alla sua *alma mater*, l’Istituto federale svizzero di tecnologia. Mettendo da parte ogni inquietudine per l’indisponente radicalità del “rivale”, Poincaré intervenne a suo favore, assicurando al fisico Pierre Weiss che si

trattava di “una delle menti più originali” che avesse mai conosciuto. Poco importava che fosse giovane; a suo parere Einstein aveva già conquistato “un posto di grande prestigio tra i più eminenti studiosi della nostra epoca. È ammirevole in lui soprattutto la facilità con cui si adatta a nuovi concetti e l’abilità con cui ne trae tutte le conseguenze. Non essendo legato ai principi classici, quando si trova di fronte a un problema fisico ne considera immediatamente tutte le possibili soluzioni. Ciò si traduce subito, nella sua mente, in previsioni di fenomeni nuovi, suscettibili prima o poi di verifica sperimentale. Non mi sentirei di dire che tutte le sue previsioni supereranno il controllo sperimentale, quando questo diverrà possibile. Al contrario, dal momento che sta indagando in tutte le direzioni, è prevedibile che le vie che sta battendo condurranno per lo più a vicoli ciechi; ma, allo stesso tempo, si può ben sperare che una delle direzioni da lui indicate si dimostri fruttuosa; ed è quanto basta. È così che si deve procedere. Il ruolo della fisica è quello di porre domande appropriate, solo gli esperimenti possono dare la risposta”. Era una lettera piena di lodi. “Il futuro dimostrerà sempre di più il valore del signor Einstein,” concludeva Poincaré, “e l’università che riuscirà ad assicurarsi questo giovane maestro ne ricaverà certo grande onore.”²

Al di là di questa lettera di presentazione, è impossibile dire precisamente quale effetto ebbe su Poincaré quell’unico incontro con Einstein. La sua salute si stava deteriorando e può darsi che in quel periodo di enorme produttività avesse sentito il presagio della morte. Può anche essere che le sue riflessioni successive sulla nuova dissonante visione della fisica illustrata da Einstein al Congresso Solvay lo avessero spinto a riconsiderare il valore di quei tentativi provvisori, euristici e orientati ai risultati che il giovane Albert aveva compiuto in maniera così efficace. Solo due settimane dopo aver raccomandato Einstein a Weiss, l’11 dicembre 1911 Poincaré scrisse al direttore e fondatore del *Circolo matematico* di Palermo. A quel tempo stava ancora lavorando su quel problema dei tre corpi che decenni prima aveva segnato l’inizio della sua straordinaria carriera, e riferì al suo corrispondente che per due lunghi anni si era scervellato senza molti progressi. Adesso era costretto a interrompere le ricerche, almeno momentaneamente: “Sarebbe bello se potessi essere sicuro di riprendere a lavorarci un giorno; alla mia età, non posso esserne certo e i risultati che ho ottenuto, che potrebbero indicare ai ricercatori una strada nuova e inesplorata, mi sembrano troppo promettenti, nonostante le delusioni che mi hanno causato, perché io mi rassegni a sacrificarli”. A cinquantasette anni, Poincaré non era certo vecchio, ma solo pochi anni prima aveva subito una seria operazione alla prostata. Il direttore sarebbe stato disposto a pubblicare un lavoro incompleto, che formulasse il problema e riportasse risultati parziali? (Lo sarebbe stato.) “Quello che mi imbarazza è che sarò costretto a inserire un gran numero di figure, proprio perché non sono riuscito ad arrivare a una regola generale, ma ho solo accumulato soluzioni particolari.” Come egli stesso aveva più volte ribadito, l’intuizione geometrico-visiva poteva arrivare dove non arrivavano le scheletriche formule dell’algebra.

Poincaré giudicava “utili” queste soluzioni parziali al problema che lo aveva impegnato per tutta la vita. Ma erano qualcosa di più; l’articolo conteneva idee che contribuirono a stabilire i fondamenti della topologia, una nuova branca della matematica. Ben presto, un giovane matematico americano, George D. Birkhoff,

dimostrò la congettura cruciale che stava al centro delle indagini di Poincaré.¹⁰

Un tacito riferimento a Einstein può essere forse ritrovato nell'ultima conferenza tenuta da Poincaré sulla relatività, benché essa non faccia mai menzione di quel nome. Il 4 maggio 1912 Poincaré parlò di "Spazio e tempo" all'Università di Londra. Ribadì con la consueta energia che "le proprietà del tempo non sono altro che le proprietà degli orologi, come le proprietà dello spazio non sono altro che le proprietà degli strumenti di misura".¹¹ Negli ultimi anni, la presenza dell'etere si era ridotta ulteriormente nei suoi scritti, come se il suo ruolo nella teoria andasse scemando. Ora, però, sulla sostanza onnipervasiva era calato il silenzio. Poincaré non respingeva l'etere, ma neppure lo menzionava. Nella sua perorazione, rimpiazzò il vecchio meccanico "principio di relatività" con il "principio di relatività di Lorentz". Eventi simultanei per orologi coordinati in un sistema di riferimento non sarebbero stati simultanei se misurati da orologi coordinati in un altro sistema di riferimento.

Ciò significava forse che Poincaré avesse abbandonato l'etere e fosse diventato un einsteiniano a trecentosessanta gradi? No. Avendo iniziato la sua esposizione con la domanda se le sue conclusioni precedenti sullo spazio e il tempo richiedessero ora una revisione alla luce degli sviluppi recenti, rispose: "Certo che no; avevamo adottato una convenzione perché ci sembrava comoda e non abbiamo detto nulla che potesse costringerci ad abbandonarla". Ma le convenzioni non sono elargite da Dio:

Oggi alcuni fisici vogliono adottare una convenzione nuova. Nessuno li costringe a farlo; essi ritengono che questa nuova convenzione sia più comoda; ecco tutto; e quelli che non sono di questo avviso possono legittimamente mantenere quella vecchia per non turbare le loro vecchie abitudini. Credo, detto fra noi, che questo sia proprio quello che faranno per molto tempo ancora.¹²

Il tempo che rimaneva a Poincaré non era però molto. I suoi problemi di salute lo affliggevano sempre più di frequente e in modo sempre più serio. Nondimeno, quando gli fu chiesto di accettare la presidenza della Lega francese per l'educazione morale e di pronunciare il discorso di fondazione il 26 giugno 1912, egli come al solito accettò. Il prestigio scientifico era per lui associato in maniera inestricabile al ruolo e alla responsabilità civili. Nel bel mezzo delle battaglie tra movimenti clericali e anticlericali, di fronte al crescente conflitto con i tedeschi in Nord Africa, e persino mentre le mura di Parigi erano ricoperte di appelli partigiani, Poincaré andava in cerca di principi che potessero unificare la morale francese. Contro quanti erano disposti a manipolare l'odio, egli vedeva nella disciplina l'unica difesa. La disciplina - la moralità - era tutto quello che garantiva l'umanità contro "un abisso di sofferenze". "L'umanità è [...] come un esercito in guerra", un esercito che deve prepararsi per la battaglia in tempo di pace, non all'ultimo momento, quando è troppo tardi e deve affrontare il nemico. L'odio poteva alimentare i conflitti tra gli uomini, e questi potevano trasformare la loro fede: "Cosa succederà se le idee nuove che adotteranno saranno quelle che i loro vecchi maestri gli hanno presentato come la negazione stessa della morale? Questi abiti mentali possono andare perduti in un solo giorno? [...] Troppo vecchi per subire una nuova educazione, perderanno i frutti di quella antica!".¹³ Nel campo della moralità, della fisica, della matematica, Poincaré voleva costruire strutture radicalmente nuove, ma voleva farlo usando i vecchi mattoni; voleva sfruttare, non

scartare, l'eredità di un illustre passato.

Egli si sottopose a una nuova operazione chirurgica il 9 luglio 1912, e per qualche giorno gli amici e la famiglia sperarono in una ripresa. Ma questa non arrivò mai; l'illustre scienziato morì, a seguito di un'embolia, il 17 luglio 1912. Dozzine di necrologi apparvero in tutto il mondo. Forse il monumento più appropriato fu anche il più anonimo: più tardi, in quello stesso anno, la Torre Eiffel cominciò a irradiare i suoi segnali orari di precisione. Quegli impulsi immersero il mondo in una sfera di luce hertziana in continua espansione, stabilendo la simultaneità (e la longitudine) all'interno dell'Africa e, attraverso l'Atlantico, fino al Nord America, sulla base delle tecniche che Poincaré aveva introdotto nella geodesia, nell'epistemologia e nella fisica.

DUE MODERNISMI

Riflettendo nel 1954 sull'opera di Poincaré, il principe Louis de Broglie, il fisico che aveva mostrato che le particelle possono comportarsi come onde, si lamentava del fatto che il grande matematico avesse perso l'occasione di essere il primo a sviluppare la teoria della relatività in tutta la sua generalità, "facendo così guadagnare alla Francia la gloria di quella scoperta". "È impossibile essere più vicini alle idee di Einstein", era il giudizio di de Broglie. "Eppure, Poincaré non fece il passo decisivo; lasciò a Einstein la gloria di comprendere tutte le conseguenze del principio di relatività e, in particolare, di determinare, attraverso una profonda critica della misura delle lunghezze e delle durate, il vero carattere fisico della relazione che il principio di relatività stabilisce tra lo spazio e il tempo. Perché Poincaré non spinse i suoi pensieri fino in fondo? Fu certo per l'inclinazione, un po' troppo critica, del suo spirito, dovuta forse alla sua formazione di matematico puro [...]." Per de Broglie, dunque, era stata la formazione matematica di Poincaré che lo aveva condotto a vedere nella scienza nulla più che la scelta pronta e bene informata, dettata dalla comodità, di una teoria tra tutte quelle logicamente equivalenti. Secondo de Broglie, Poincaré non fu capace di percorrere la via migliore che era stata tracciata dall'intuizione fisica.¹⁴ A suo giudizio, egli ragionava troppo da matematico, era troppo indifferente al mondo reale per poter formulare la relatività, come invece fece Einstein.

La mia opinione è che la diagnosi di de Broglie sia assai limitata. Direi, invece, che Poincaré spinse davvero "i suoi pensieri fino in fondo", fino a un'immagine della conoscenza - inclusa la sua concezione della conoscenza matematica - che recava in sé l'ottimismo tipico del XIX secolo, la visione impegnata e piena di speranza di un mondo calcolabile, migliorabile, razionale, propria dell'*École Polytechnique* della Terza Repubblica. Semmai, Poincaré dedicò fin troppa attenzione al mondo reale: quando osservò nel 1898-1899 che le correzioni del tempo newtoniano fossero necessarie in linea di principio, ma troppo piccole per avere importanza, fu perché in quel momento stava confrontando gli errori "relativistici" del segnale luminoso con gli errori "ordinari" legati alla determinazione della longitudine nel mondo reale.

Tuttavia, chi definisce “conservatore” o “reazionario” l’approccio di Poincaré è fuori strada; lo sguardo di Poincaré era rivolto agli ideali di un Illuminismo rivoluzionario che, alla fine del secolo (l’epoca sua) si era istituzionalizzato nell’impero francese. Tutte le nostre grandi costruzioni prima o poi si incrinano, ripeteva sovente Poincaré. Ma a queste crepe e a queste crisi non si dovrebbe rispondere con il misticismo o la melanconia delle élite intellettuali, bensì raddoppiando lo sforzo per riparare l’edificio, mediante l’applicazione sistematica dell’azione ragionata. A suo modo di vedere, lo scienziato-ingegnere poteva applicare altrettanto bene la sua ragione analitica alla comprensione di un incidente in una miniera di carbone e al moto planetario, alla mappatura del mondo e alla ricostruzione della teoria di Lorentz degli elettroni in movimento.

Per Poincaré, il tronco dell’albero della conoscenza era proprio questa sorta di meccanica impegnata, una comprensione matematica della natura fondata sull’intuizione che, in una miriade di punti, proiettava i suoi rami verso l’esperimento e la tecnologia. Poincaré mirava, cercandola in mille modi diversi, a una comprensione del mondo che fosse in grado di parlare, da un lato, agli studenti, chiarendo loro il ruolo che dovevano avere in una Francia ferita nell’onore, e, dall’altro, agli scienziati, ai cartografi, ai politici, impegnati a cablare un impero che avrebbe collegato Parigi a Dakar, Haiphong e Montreal. Voleva una meccanica di forze ed energia, ma tale da abbracciare questioni come l’analisi della meccanica celeste, la forma della Terra o il comportamento dei cavi telegrafici. Come ricordò ai colleghi *anciens polytechniciens* nel 1903, vi era bisogno di una miscela di teoria e azione. Nel caso di Poincaré ciò significava in un’occasione rispondere all’egemonia telegrafica britannica promuovendo la segnalazione via radio da parte dei francesi, in un’altra smantellare le accuse prive di scientificità contro Dreyfus con l’ausilio di strumenti astronomici e del calcolo delle probabilità.

Il suo era un mondo in cui la verità e la realtà ultima delle cose contavano molto meno delle loro relazioni stabili, durature e comunicabili - quel tipo di relazioni affidabili che rendevano possibile l’azione. Per dirla con lo stesso Poincaré, “la scienza è solo una classificazione e [...] una classificazione non può essere vera, ma soltanto comoda. Ma è vero che essa è comoda, è vero che lo è non solo per me, ma per tutti gli uomini; è vero che rimarrà comoda per i nostri discendenti; è vero, infine, che questo non può essere un caso. In breve, l’unica realtà oggettiva consiste nelle relazioni tra le cose”.¹⁵ Un mondo di razionalità scientifica senza profondità metafisica: relazioni oggettive, non oggetti metafisici.

Unire l’astratto e il concreto in questo piatto mondo di relazioni significava per Poincaré essere in grado di lottare per negoziare convenzioni nelle cose umane. Soddisfare e negoziare le esigenze e le richieste di magnati ferroviari, astronomi, fisici e navigatori era l’obiettivo centrale della decimalizzazione del tempo. E, in quanto illustre membro del *Bureau des Longitudes*, Poincaré comprendeva il tempo attraverso le dettagliate procedure materiali dei protocolli ingegneristici: nell’organizzare, analizzare, rendicontare le spedizioni dei colleghi scienziati e dei militari, egli era ammirato dal modo in cui allestivano le loro baracche-osservatorio sulle cime scoscese delle Ande o nelle stazioni costiere del Senegal. Il posto del tempo, per Poincaré, era nel *nostro* mondo, nella *nostra* comodità, nel *nostro* scambio

di segnali ottici e telegrafici. Il mondo metafisico dietro le apparenze non era nulla. Come scrisse ne “La misura del tempo”, “Noi [...] scegliamo queste regole [di simultaneità] non perché sono vere, ma perché sono le più comode”.

Per Poincaré, la scelta di come misurare la simultaneità arricchiva il concetto di tempo, invece di impoverirlo. Gli permetteva di manovrare tale concetto avanti e indietro, tra i protocolli della longitudine o della decimalizzazione, le astrazioni di una filosofia orientata verso la scienza e i principi di una nuova fisica. “Guardiamo [gli scienziati (*savants*)] al lavoro e cerchiamo le regole mediante le quali indagano la simultaneità” esortava.¹⁶ Ed è proprio quello che faceva quando si sforzava di sintetizzare il lavoro della sua cerchia di filosofi, fisici e cartografi. La nozione procedurale di tempo andava bene per tutti:

La simultaneità è una convenzione, nient'altro che la coordinazione di orologi mediante uno scambio incrociato di segnali elettromagnetici che tiene conto del tempo di trasmissione del segnale.

Tale mossa ha fornito il nucleo drammatico intorno al quale è stato costruito questo libro, caricando il suo momento storico di un'opalescenza critica. Ma che cos'era? Anzitutto, essa era una procedura convenzionale e regolata, un metodo sempre più preciso per stabilire giorno per giorno la simultaneità al fine di determinare la longitudine, una macchina teorica. Come convenzione tecnica ricorreva di continuo nelle pagine degli annali del *Bureau des Longitudes*. Al contempo, per Poincaré, quella mossa rappresentava un'esplorazione filosofica delle questioni del tempo e della simultaneità, una tesi che poteva presentare come il primo esempio di una posizione *convenzionalista* verso le leggi e i principi scientifici. La simultaneità non era altro che una coordinazione elettromagnetica basata su un accordo sui principi. In questa versione filosofica, le sue parole apparvero, del tutto appropriatamente e con notevole effetto, nella *Revue de Métaphysique et de Morale*, risuonando in pieno accordo con le lunghe conversazioni che da anni egli conduceva con un circolo di filosofi francesi, molti dei quali erano usciti dall'*École Polytechnique*. Infine, a cominciare dal 1900, Poincaré presentò questa semplice asserzione sulla simultaneità al pubblico dei fisici come un'interpretazione del “tempo locale” di Lorentz, come se quest'ultimo l'avesse sempre condivisa implicitamente. Quando poi passò alla teoria dell'elettrone, la procedura di simultaneità poteva impreziosire gli atti di una conferenza di fisica dedicata a Lorentz o quelli dell'Accademia delle Scienze.

La coordinazione degli orologi è “realmente” un intervento tecnologico, metafisico o fisico? Tutti e tre. Potremmo chiederci, allo stesso modo, se la Place de l'Étoile sia davvero in Avenue des Champs Élysées, in Avenue Kleber o in Avenue Foch. In effetti, come ogni punto di intersezione di una grande metropoli, l'enorme interesse della questione della simultaneità consiste precisamente nel suo essere situata al centro di un vibrante incrocio di grandi viali intellettuali.

Ripetuta incessantemente dall'Africa Orientale all'Estremo Oriente, la procedura di coordinazione elettromagnetica degli orologi era insieme squisitamente tecnologica e profondamente teorica. Riguardava i tubi d'ottone con fragili specchi sospesi, ma anche il controllo globale del “tempo universale”; le vaste estensioni di cavi di rame, a

un miglio di profondità sotto l'Oceano, protetti da pesanti isolamenti di guttaperca e attivati da tasti telegrafici d'ottone entro rozze baracche-osservatorio, ma anche la fantasmagorica estensione dell'impero. Topografi e astronomi esaminavano pazientemente le equazioni personali, calcolando e correggendo le loro misurazioni grazie alla simultaneità, sulla via che li conduceva alla mappa, al premio finale della loro opera di determinazione della longitudine. Ma la coordinazione degli orologi era anche la serie degli orologi sincronizzati, infilati come perline in una catena che attraversava i continenti, dall'Europa, alla Russia, al Nord America. Tale fusione di tecnologia e scienza metteva insieme (anche se spesso in aspro conflitto tra loro) *horlogiers* svizzeri, compilatori di orari ferroviari americani, astronomi britannici e membri dello stato maggiore tedesco. A un estremo, la sincronizzazione rappresenta una tecnologia che richiede una monotona procedura quotidiana in ogni stazioncina da due soldi. In quanto tale, è una parte significativa della fitta storia sociale del New England o della campagna branderburghese. All'altro, rappresenta la portata simbolica della modernità, che vedeva sindaci, fisici e filosofi pronunciarsi sulla convenzionalità del tempo, mentre i poeti rendevano omaggio all'annichilimento dello spazio dovuto alla velocità. In questo senso, quella della coordinazione degli orologi è una storia rarefatta, che ci porta sino al culmine della fisica matematica e della filosofia europee.

Per Poincaré, la moderna tecnologia del tempo non era qualcosa di estraneo alla sua vita scientifica - non era un "contesto" che da qualche mitico "mondo esterno" modellava, influenzava o distorceva il pensiero. Egli viveva in questo mondo, e di esso era un prodotto, allievo e poi professore di quell'*École Polytechnique* in cui materialità e astrazione si plasmavano a vicenda. Ne portava con orgoglio il "marchio di fabbrica". Il suo lavoro sul tempo apparteneva a un'epoca storica e a un luogo preciso; un aspetto non ebbe un'influenza accidentale sull'altro. Presentare l'*École Polytechnique* o il *Bureau des Longitudes* come entità estranee alla sua vera figura significa spezzare i legami tra l'azione tecnica e quella culturale che lui, e i suoi contemporanei di fine XIX secolo, vedevano come indissolubilmente connesse. Poincaré non solo ricoprì il ruolo di presidente del *Bureau* in tre occasioni diverse, ma fu anche uno dei suoi membri accademici per vent'anni, pubblicando regolarmente sulla sua rivista e svolgendo ruoli importanti nella maggior parte delle commissioni deputate alla misurazione del tempo. Né è qualcosa di "esterno" alla fisica di Einstein il fatto che egli si fosse formato all'ETH, un'istituzione dedicata, per statuto, a congiungere teoria e prassi, o che egli avesse coronato questa formazione con sette anni di apprendistato all'Ufficio brevetti di Berna, come funzionario addetto al controllo di qualità nella macchina produttiva della moderna elettrotecnologia. No, queste non furono influenze che agirono su Poincaré e su Einstein dall'esterno. Furono, piuttosto, campi d'azione che trasmisero l'alto valore delle macchine filtrandolo attraverso la ragione - luoghi di produzione per la tecnologia (attraverso la scienza) e per la scienza (attraverso la tecnologia).

Intorno al 1900, parlare della sincronizzazione degli orologi corretta in base al tempo di trasmissione era qualcosa di fondamentale importanza, ma anche di ordinaria amministrazione. Quelle correzioni erano uno strumento di lavoro per quanti erano impegnati a determinare la longitudine, e una routine per gli ingegneri di

Parigi e di Vienna, che erano consapevoli del ritardo del segnale dopo i frustranti tentativi di pompare l'ora esatta attraverso i tubi pneumatici che passavano sotto le loro città. Nel 1898 il ritardo di un impulso dovuto alla trasmissione era un problema standard per le schiere di ingegneri, cartografi, fisici e astronomi impegnati, giorno dopo giorno, a stabilire la simultaneità.

Così, nel gennaio 1898, quando pubblicò la sua argomentazione sul tempo come convenzione, Poincaré parlava il linguaggio della tecnologia degli orologi, oltre che quello della filosofia. Le stesse locuzioni potrebbero essere intese secondo registri diversi. “La simultaneità è una convenzione”, oppure “gli orologi da sincronizzare richiedono una coordinazione elettrica che corregga il ritardo dovuto alla trasmissione.” Si tratta di osservazioni filosofiche o appartengono “realmente” all'universo materiale della tecnologia? La Place de l'Étoile si trova realmente in Avenue Kleber o in Avenue Foch?

Nel dicembre 1900, Poincaré aprì una terza strada che passava per la Place de la Simultanéité, quando cominciò a usare la sincronizzazione degli orologi - in un primo tempo in modo approssimato e successivamente in modo esatto - per assegnare un significato al tempo locale di Lorentz. A quel punto, il discorso si svolgeva su tre terreni: la longitudine telegrafica, il convenzionalismo filosofico, la relatività elettrodinamica. È una perdita notevole per noi aver sezionato questo importante momento, averlo spezzato in frammenti e aver sparso questi frammenti sugli sconnessi compartimenti accademici della filosofia, della fisica e della metrologia. Poincaré aveva lottato per tenere insieme quel mondo moderno e modernizzato -per restaurarlo, tenerlo in piedi, difenderlo.

Anche il giovane Einstein si trovò nel mezzo di questa area di interscambio tra filosofia, tecnologia e fisica. Ma non scese mai in campo per riparare o tenere in piedi un impero - né quello francese, né quello prussiano, né tanto meno quello newtoniano. Prendendo in giro amabilmente i fisici affermati, gli insegnanti, i genitori, gli anziani e i personaggi autorevoli di ogni tipo, felice di autodefinirsi un “eretico”, orgoglioso del suo approccio dissenziente alla fisica, Einstein si disfece dell'etere con il piacere iconoclasta di un outsider. La ricerca sempre più disperata di una base stabile per il Sistema solare o l'aspirazione a un solido fondazionalismo che basasse l'intera fisica sulla meccanica o sull'elettrodinamica, non facevano per lui. Viceversa, egli era contento - più che contento - di scoprire dispositivi teorici che funzionavano. E le macchine erano mezzi euristici, temporanei, ma efficaci, per procedere con la teoria. Ciò erano il suo orologio a segnali luminosi, o la miriade di esperimenti mentali che avanzò per arrivare all'inerzia dell'energia, $E = mc^2$. Ciò era, cosa più importante ai nostri scopi, la sua macchina del tempo, quell'infinita serie di orologi connessi e coordinati dallo scambio regolato di segnali luminosi.

La coordinazione del tempo, come ausilio pragmatico e convenzionale per la costruzione di una nuova meccanica, fu importante per Poincaré. Ma lo fu ancor più per Einstein. Fu proprio il tempo definito in modo procedurale che gli servì da punto di partenza da cui derivare la contrazione di Lorentz. Come un arco classico, la sincronizzazione del tempo abbracciava in un'unione stabile la colonna della relatività e quella della velocità assoluta della luce.

Einstein scoprì davvero la relatività? O c'era già arrivato Poincaré? Queste

domande sono ormai tanto noiose quanto sterili. La controversia su chi scoprì la relatività, alimentata in origine dai diffusi e offensivi attacchi nazisti contro il ruolo di Einstein nella storia della fisica, continuò per decenni. Chi fondò la teoria, qual è la sua essenza? Il *reale* nucleo della relatività è l'abbandono dell'etere o la formula matematica per trasformare spazio e tempo? È una fede incrollabile nel principio di relatività, o l'applicabilità del principio a tutte le interazioni fisiche, oppure è forse corretto identificare la teoria con le trasformazioni dello spazio e del tempo basate sulla sincronizzazione degli orologi? O la relatività non consiste in nient'altro che nelle predizioni corrette riguardo a ciò che si può osservare negli esperimenti? La relatività - e la relatività del tempo in particolare - divenne, più di ogni altra cosa, un sinonimo della fisica contemporanea e della contemporaneità più in generale. Fare una sorta di graduatoria tra Einstein e Poincaré è, nella nostra prospettiva, la parte meno interessante della storia del tempo e della simultaneità.

Assai più importante è situare Poincaré ed Einstein ai due punti nodali della coordinazione del tempo tra fine Ottocento e inizio Novecento; comprendere i modi caratteristici in cui ciascuno discese la corrente della tecnologia, della fisica e della filosofia; capire come ciascuno si batté per strappare la simultaneità dal firmamento della metafisica e riportarla sulla Terra come quantità definita in modo procedurale. La standardizzazione del tempo era all'ordine del giorno, per qualsiasi scienziato era un'estensione naturale della standardizzazione della lunghezza. Si manifestava sui quadranti degli orologi pubblici, sugli orari ferroviari, nella disciplinata organizzazione delle scuole e delle fabbriche. All'Osservatorio di Parigi degli anni Novanta, Wolf caricava elettromagneti per tenere al passo gli orologi astronomici e sovrintendere al funzionamento di dozzine di altri orologi lungo le strade di Parigi. Cornu aggiustava il gigantesco pendolo del suo orologio regolatore, unendo meccanica ed elettromagnetismo per formulare una rigorosa analisi dell'elettrosincronizzazione. Squadre di osservatori itineranti scambiavano incessantemente segnali orari con il Senegal, con Quito, Boston, Berlino e Greenwich. Gli astronomi anglosassoni vendevano il tempo alle ferrovie, mentre i loro colleghi francesi speravano che la gloriosa precisione dell'Osservatorio sarebbe stata imitata in tutto il paese -che i riflessi di un unico orologio maestro si sarebbero moltiplicati, come in un gioco di specchi, finché la luce della razionalità temporale non si fosse riversata in ogni strada della Repubblica. La creazione di questo tempo standardizzato, procedurale, fu un progetto monumentale che utilizzò paletti imbevuti di creosoto e cavi sottomarini. Richiese una tecnologia del metallo e della gomma, ma anche risme di carta, per emettere, contestare e sancire ordinanze locali, leggi nazionali e convenzioni internazionali. Il risultato fu che la sincronizzazione convenzionale del tempo tra fine Ottocento e inizio Novecento non fu mai avulsa dalla politica degli industriali, degli scienziati e degli avvocati. Sarebbe più semplice se potessimo attribuire l'ascesa degli standard di fine XIX secolo a una sola ruota motrice: stabilire che essa fu dovuta in ultima analisi ai magnati delle ferrovie, o in modo decisivo agli scienziati, o esclusivamente ai filosofi. Ma la ristrutturazione del tempo non fu una cosa così semplice.

Il tempo era complicato poiché, già molto prima del XIX secolo, gli orologi e la simultaneità erano qualcosa di più che un insieme di congegni, di pendoli e di

puntatori. Nel XVIII secolo, per esempio, i cronometri di precisione del sofferente orologiaio britannico John Harrison fecero la loro comparsa nel contesto più ampio delle pubblicazioni inerenti il problema della longitudine, oltre che in diari e satire sulla misurazione del tempo e sulla cartografia. Sin dall'inizio, gli orologi di precisione di Harrison assunsero un'importanza "planetaria".¹⁷ Ma anche risalendo a prima del XVIII secolo è possibile vedere quanto gli orologi fossero intessuti delle culture in cui furono costruiti. Le clessidre e gli orologi delle chiese erano molto più che dispositivi per scandire il tempo; servivano ad affermare autorità diverse e sovrapposte: Dio, il signore feudale, la consapevolezza della mortalità umana. Non vi è alcun modo di giungere a un qualche momento primordiale in cui il tempo non abbia avuto una valenza culturale, ma sia stato solo la sabbia di una clessidra, l'ombra di un orologio solare o un puntatore meccanico.

Quello che emerse alla fine del XIX secolo non fu soltanto il risultato di un'invenzione particolare - gli orologi coordinati esistevano prima di allora. L'Europa e il Nord America sperimentarono, invece, un drammatico mutamento globale nel ruolo e nella densità del tempo distribuito elettricamente. Gli orologi collegati di fine XIX secolo ricoprivano il mondo intero. Le sfere d'azione di queste tecnologie di ampia diffusione si alimentavano a vicenda. I treni trascinavano le linee telegrafiche, le linee telegrafiche producevano le mappe, e le mappe guidavano la costruzione delle strade ferrate. Tutte e tre queste sfere (treni, telegrafi e mappe) contribuirono a diffondere la sensazione crescente che la simultaneità si riducesse alla domanda "Che ora è adesso da qualche altra parte?", che era insieme pratica ed evocativa. Quando leggiamo le molte discussioni di Einstein e di Poincaré sulle nuove idee di tempo e di spazio espresse nel lessico delle automobili, dei telegrafi, dei treni e dei cannoni, vediamo le condizioni in cui tali domande diventarono un luogo comune.

Possiamo pensare alla simultaneità come a un'intersezione di archi, in cui ciascun arco rappresenta una lunga successione di "mosse" all'interno di un determinato campo. Prendete la fisica di cui abbiamo seguito gli sviluppi. È chiaro che non vi è un unico significato di simultaneità che rimane immutato dai primi anni Novanta dell'Ottocento sino al 1905. Il tempo locale (*Ortszeit*) aveva all'inizio un senso geografico, diventò poi una finzione matematica nelle mani di Lorentz, e si trasformò, in quelle di Poincaré, prima nel tempo locale *osservabile* basato sui segnali luminosi, poi nel dilatato tempo "apparente", solo per assumere una forma ancora nuova nel tempo relativistico di Einstein. Questi slittamenti nel significato del tempo non ebbero luogo tutti in una volta e non si realizzarono soltanto nel dominio della fisica. Anzi, si comprendono meglio come una serie di mosse di un gioco in evoluzione. Coerentemente con l'uso del termine "mossa" nel senso quotidiano di un gioco, una "mossa" in questo senso più tecnico era talvolta un'asserzione (o una convenzione), talaltra una procedura fisica. È interessante osservare come Poincaré e Lorentz avessero un senso della continuità tale da poter considerare il proprio lavoro come una costruzione progressiva e graduale, nonostante gli scopi stessi del gioco fossero in evoluzione. (Se nel 1894 l'obiettivo di Lorentz era di risolvere un'equazione facendo apparire un oggetto in moto in un campo elettrico e magnetico come se fosse in quiete rispetto all'etere, nel 1904-1905 il suo obiettivo [nonché quello di Poincaré]

era di produrre leggi fisiche che conducessero agli stessi risultati misurabili in qualunque sistema di riferimento in moto uniforme.)

Un arco della simultaneità era, dunque, quello della fisica - la serie di mosse che trasformò l'elettrodinamica dei corpi in movimento. Ma la mossa di Poincaré, consistente nel definire la sincronia in termini di scambio di segnali luminosi, attraversava almeno altri due archi: la determinazione telegrafica della longitudine e la filosofia francese di fine XIX secolo. Dall'epoca della guerra civile americana in poi, la determinazione telegrafica della longitudine diventò *il* metodo moderno per stabilire la simultaneità necessaria per fissare la longitudine. Sulla scia del *Coast Survey*, gli europei si impadronirono rapidamente del metodo americano e stesero le loro reti per terre e mari. Nel 1899, sotto la presidenza di Poincaré, il *Bureau des Longitudes* era diventato un nodo globale per la trasmissione, ricezione, elaborazione e definizione della simultaneità. Alla fine del XIX secolo, il tempo permeava ogni attività del *Bureau*: metodi per distribuire l'ora esatta alle città, teorie sul modo di perfezionare l'elettrosincronizzazione, dibattiti sulla decimalizzazione. La longitudine determinata elettricamente era importante per i francesi per stabilire la posizione delle loro colonie sul mappamondo e articolare la loro geografia interna. Ma era anche decisiva per rispondere a quel vero e proprio insulto alla geodesia europea rappresentato dalla lunga battaglia sulla corretta differenza di longitudine tra Parigi e Londra. Guidato da Poincaré, il *Bureau* arruolò anche la Torre Eiffel nella campagna per la trasmissione (senza fili) del tempo. Rapporto dopo rapporto, appare chiaro come lo scambio di segnali telegrafici, con le dovute correzioni relative al tempo di trasmissione, fosse diventato una routine per il *Bureau*, almeno quando si trattava di determinare l'ora e il luogo di un sito lontano da Parigi. Anche la filosofia aveva il suo arco, la sua serie di asserzioni sulla misura del tempo. La visione che Poincaré aveva della filosofia era certo mediata dal circolo di Boutroux e, in modo ancora più diretto, dalla fisica-filosofia dei suoi colleghi dell'*École*, Auguste Calinon e Jules Andrade, che pure conducevano, a modo loro, indagini sul tempo.

L'intersezione di questi tre registri di misurazione del tempo non implica *necessariamente* la revisione della simultaneità operata da Poincaré. Ma l'esplorazione di questa triplice intersezione di interessi in luoghi come l'*École* o il *Bureau des Longitudes* può farci capire perché Poincaré, lì e allora, considerò la misurazione del tempo come una questione essenziale legata alle convenzioni, alla fisica e alla longitudine; nonché come il tempo astratto potesse essere compreso e ripensato attraverso le macchine.

Ciascuno di questi tre archi - fisica, filosofia e tecnologia - recava in sé il senso del nuovo. La "nuova meccanica" ostentava la sua rottura con le vecchie nozioni di massa, spazio e tempo, mentre i cavi elettrici della rete telegrafica mondiale venivano acclamati come un trionfo e come uno strumento per "civilizzare" l'impero. Poincaré collegò, inoltre, il suo convenzionalismo circa il tempo e la simultaneità al suo convenzionalismo filosofico circa i principi della fisica e la struttura della matematica. Ma il termine "convenzione", per lui, rinviava anche alla pletora di accordi internazionali sulla misura e sulla distribuzione dell'ora esatta che erano stati promossi dalla Francia. Il tempo non era affatto immobile in questa triplice intersezione, che era la quintessenza dello spirito moderno.

In tutta la sua opera, Poincaré affrontò i suoi argomenti con il modernismo di un ingegnere matematico: cioè con una fiducia ben radicata nell'abilità umana di comprendere e migliorare il mondo dal punto di vista tecnico, di completarne, per così dire, la mappa. Poco dopo la sua morte, il nipote, Pierre Boutroux, cercò appassionatamente, in una lettera a Mittag-Leffler, di individuare la meta principale che per tutta la vita aveva animato l'opera dello zio. La cosa interessante è che egli non si rivolse alla matematica o alla fisica, bensì alla geografia. Boutroux raccontò come Poincaré avesse sempre seguito con avido interesse le storie di viaggi ed esplorazioni; sia nella scienza sia fuori di essa, l'intero suo lavoro era caratterizzato da un impulso irresistibile a “colmare le lacune nella mappa del mondo”.¹⁸

Poincaré aveva una fiducia incrollabile nella possibilità di colmare tali lacune. Quelle che si aprivano sulla superficie della conoscenza potevano essere completate nella mappa causale che egli aveva disegnato in occasione del disastro minerario di Magny e in cui la catastrofe veniva fatta risalire a un colpo di piccone sul reticolo che proteggeva la lanterna numero 476. Ma potevano essere affrontate in maniera più globale tramite la “mappa di Poincaré”, che egli aveva sfruttato per rappresentare il comportamento non visualizzabile di orbite planetarie caotiche come successioni di punti che disegnavano percorsi tortuosi su un piano. Per riempire i vuoti della mappa geografica del mondo egli lavorò al *Bureau des Longitudes*, ricorrendo al telegrafo per dare una precisa collocazione a Saint Louis, a Dakar e a Quito - un lavoro ricco di implicazioni anche per i tentativi teorici di determinare la forma precisa della Terra che egli, seguendo una lunga tradizione di fisici, aveva portato avanti. Altri spazi vuoti potevano essere riempiti dagli studi sull'etere, dalle indagini sulla struttura dell'elettrone, dal ricorso a funzioni matematiche intuitive, a formulazioni intuitive della logica e dal potere euristico del concetto di etere.

Quello di Poincaré era un modernismo pieno di speranza in un universo di relazioni a noi accessibili, privo di Dio, di forme platoniche o (benché fosse affascinato dall'insistenza di Kant sulle strutture che rendono possibile la conoscenza) di kantiane cose-in-sé. Invece di preoccuparsi degli oggetti, Poincaré inseguiva le relazioni, poiché erano le relazioni tra le cose quelle che sarebbero sopravvissute quand'anche gli oggetti che esse collegavano fossero svaniti nelle nebbie della storia. E la verità? Dato il complesso intreccio di convenzioni, definizioni e principi in cui erano immerse le leggi della fisica, egli preferiva quel tipo di oggettività che era associata ai concetti - condivisi e duraturi - di semplicità e di comodità. Le relazioni vere, non la verità per sé. La superficie visibile, non le oscure profondità. Poincaré perseguì con coerenza questa riformulata visione illuministica anche quando ciò significò ricorrere a concetti radicalmente nuovi di spazio, tempo e stabilità fisica per tentare di colmare le vaste lacune della conoscenza.

Anche il modernismo di Einstein può essere trovato a una triplice intersezione: una mossa nella fisica dei corpi in movimento, un'altra nell'attacco filosofico allo spazio e al tempo assoluti, e un'altra ancora nella più ampia tecnologia della sincronizzazione degli orologi. L'attenzione di Einstein insisteva sulla fisica più di quella di Poincaré, era più attratta da particolari macchine materiali che dall'ingegneria di quelle astratte. È impossibile immaginare Poincaré che fa girare una rotella di ebanite in un marchingegno fatto in casa; ed è altrettanto arduo raffigurare

Einstein che coordina una grande équipe di tecnici nel tentativo di realizzare un collegamento via cavo per trasmettere elettricamente l'ora esatta da Quito a Gayaquil. Pur mantenendo un interesse più pratico verso la materialità degli oggetti, Einstein aveva al contempo una concezione più metafisica della relazione tra le teorie e i fenomeni, che lo conduceva in molti contesti differenti a pretendere una precisa corrispondenza tra gli elementi della teoria e quelli del mondo. Poincaré non smise mai di assegnare al tempo locale lo statuto di "tempo apparente" di contro a quello "reale". Dato che non vedeva alcuna distinzione analoga nei fenomeni, Einstein si tenne alla larga da questa dicotomia teorica. Il tempo e lo spazio in un sistema di riferimento inerziale erano per lui altrettanto "reali" (o "relativi") che in qualsiasi altro: gli orologi erano orologi, i regoli erano regoli. Laddove Poincaré rispettava l'etere come un ausilio per il pensiero, una base intuitiva su cui immaginare le equazioni differenziali, Einstein lo irrideva come un inutile ingranaggio di un meccanismo obsoleto. E lo scartò con lo stesso gusto con cui scartava gli elementi superflui nelle richieste di brevetto. Quando egli trattò i quanti di luce in maniera euristica, senza far riferimento alle equazioni d'onda concepite all'interno dell'etere, a Poincaré restò il timore che il giovane fisico e i suoi seguaci avessero gettato a mare le condizioni stesse che rendevano possibile una reale comprensione del mondo fisico. Dal suo punto di vista, Poincaré aveva ragione: Einstein non aveva alcuna ritrosia a usare strumenti intellettuali come "tappabuchi" - euristiche che collegavano gli elementi della teoria agli elementi dei fenomeni, anche se ciò significava violare l'intuizione (nel senso particolare di Poincaré).

Poincaré si sforzò di estendere la mappa del mondo in tutti i suoi dettagli, sino ai più piccoli rigagnoli terziari che affluivano nei ruscelli secondari, attraverso equazioni differenziali scelte per comodità, nell'accezione più ampia del termine. L'etere e il "tempo apparente" erano in grado di aiutare l'intuizione, preservando le "relazioni vere" dei fenomeni osservati? Se così era, ciò gli bastava, anche al prezzo di una certa ridondanza. Viceversa, Einstein voleva organizzare tempo e spazio in una teoria che *corrispondesse* ai fenomeni, non solo nelle predizioni ma anche nel suo carattere austero. Se i fenomeni erano simmetrici (per esempio, se non vi era alcun modo di distinguere il sistema "magnete in moto/conduttore in quiete" dal sistema "magnete in quiete/conduttore in moto"), allora la teoria avrebbe dovuto incorporare formalmente questa simmetria. Nel successivo dibattito sui quanti, Einstein espresse la preoccupazione complementare: che vi fossero caratteristiche predicibili del mondo fisico alle quali non corrispondesse alcun elemento della teoria.

Per Poincaré spazio e tempo erano ancorati alla rigorosa superficie delle relazioni oggettive costruite per soddisfare l'esigenza umana di una comodità semplice, oggettiva e francamente psicologica. Il suo era un secolarismo inflessibile da Terza Repubblica. Viceversa, Einstein non pensava che la teoria avesse assolto al suo compito catturando con successo e in modo conveniente le relazioni vere tra i fenomeni. Cercava una relazione profonda tra i fenomeni e la teoria sottostante. Come Poincaré, Einstein credeva che le leggi dovessero essere semplici, non per comodità, ma perché (come scrisse lui stesso) "la natura è la realizzazione delle idee matematiche più semplici che possano essere concepite". La forma della teoria, dunque, doveva mostrare fin nei dettagli la realtà dei fenomeni: "In un certo senso",

affermai in seguito, “sostengo che il pensiero puro possa afferrare la realtà, proprio come sognavano gli Antichi”.¹⁹ Einstein riteneva che una teoria appropriata dovesse corrispondere ai fenomeni per austerità. In questa profondità si nascondeva una teologia contemplativa. Un tipo di religiosità ispirata non a un Dio personale, vendicativo e implacabile nei suoi giudizi, ma al Dio per lo più recondito di un ordine naturale sottostante: “Lo scienziato è posseduto dal senso dalla causazione universale. Il futuro per lui è in ogni istante altrettanto necessario e determinato del passato. [...] Il suo sentimento religioso assume la forma di uno stupore estasiato per l’armonia della legge naturale che rivela un’intelligenza superiore”.²⁰ Qualche volta al fisico era concesso di realizzare progressi per mezzo dell’applicazione provvisoria di strumenti euristici; ciò poteva consentire alla teoria di tirare avanti, finché non fossero stati possibili ulteriori sviluppi. Tale uso provvisorio di principi formali svolse un ruolo nella termodinamica, nella teoria quantistica e nella relatività.²¹ Ma Einstein insisteva sempre che, per quanto possibile, gli scienziati miravano a forgiare teorie che catturassero alcuni frammenti del semplice e armonioso ordine sottostante. Poiché credeva fermamente che i fenomeni non distinguessero tra tempo apparente e reale, Einstein riteneva che non avrebbe dovuto farlo neppure la teoria.

Né Poincaré, né Einstein possono essere classificati sotto le categorie del realismo ingenuo o dell’antirealismo. È vero che per tutta la sua carriera Poincaré sottolineò la libertà di scelta nella descrizione del mondo: in geometria, in fisica e nella tecnologia. Ma sarebbe un grave fraintendimento riassumere il suo convenzionalismo in un antirealismo accomodante, *à la* tutto va bene. Sia nelle faccende pratiche sia in quelle astratte, egli coglieva ogni occasione per enfatizzare il ruolo centrale delle “relazioni vere”, oggettive, di una “semplicità” che non era sempre facile da afferrare. Einstein, al contrario, viene sempre catalogato come un convinto realista. Vi era, in effetti, un Einstein che si chiedeva tranquillamente se una teoria raccontasse davvero “le cose come stanno”. Ciò nonostante, ammoniva che vi erano modi diversi di caratterizzare “la realtà” e che la parte feconda della teoria non consisteva negli eventi che potevano essere classificati mediante le coordinate spaziotemporali, oppure mediante ciò che è direttamente percepibile. Consisteva, invece, nei legami tra questi eventi, e tali legami non erano fissati una volta per tutte.²² Entrambi riconoscevano il potere dei principi e delle convenzioni nel determinare la portata della teoria e la possibilità di misurazioni. Entrambi erano perfettamente disposti a respingere concetti tradizionali, anche quando questi avevano una storia, apparivano intuitivi e persino autoevidenti. Profondamente coinvolti nel cambiamento di un mondo tecnologico che mai come allora aveva riconosciuto l’importanza della *scelta* nella misurazione, nella standardizzazione e nella costruzione delle teorie, Einstein e Poincaré, sia pure separatamente, buttarono giù la simultaneità dal suo piedestallo metafisico e la sostituirono con una convenzione definita attraverso macchine.

Col *senno di poi*, dopo Einstein è fin troppo facile liquidare Poincaré come un reazionario che cercò strenuamente (senza riuscirci) di arrivare alla teoria della relatività. Un simile sguardo retrospettivo finisce col seppellire il suo tentativo di riformulare la fisica dello spazio e del tempo nei termini di una “nuova meccanica”. Sarebbe come dichiarare con sufficienza che Picasso era antimoderno solo perché non era moderno nello stesso senso di Pollock, o fare lo stesso con Proust perché il

suo modernismo non era pari a quello dell'ultimo Joyce. Guardando in *avanti* sia verso Poincaré, sia verso Einstein, possiamo vedere che essi rupero entrambi con il passato, sia pure in modi diversi.

Siamo di fronte a due differenti forme di modernismo in fisica, a due tentativi fieramente ambiziosi di catturare il mondo nella sua totalità. Il modernismo di Poincaré procedeva stabilendo relazioni vere, obiettive, semplici e comode, fino a colmare la più piccola lacuna. Einstein, invece, puntava a forgiare una teoria che aspirasse a catturare i fenomeni, non solo nelle predizioni, ma anche nelle sue strutture sottostanti. Il primo procedeva in modo costruttivo, elaborando teorie di una complessità sufficiente ad afferrare le relazioni strutturali del mondo. Il secondo era più critico, più disposto a mettere da parte la complessità per comprendere, in modo austero, quei principi che riflettevano l'ordine naturale che governava le cose. Queste due visioni parallele di una nuova e moderna fisica relativistica avevano molto in comune. Tuttavia, l'atteggiamento che Einstein e Poincaré ebbero l'uno nei confronti dell'altro fu di un'ambigua ammirazione, e nessuno dei due era capace di immedesimarsi nella modernità alternativa dell'altro più di quanto Freud fosse capace di leggere Nietzsche. Troppo vicine e troppo lontane per comunicare efficacemente, le loro interpretazioni della relatività non si incrociarono mai, anche quando i due scienziati trasformarono radicalmente il concetto di "tempo" in modo da scuotere l'intero edificio della conoscenza in fisica, filosofia, tecnologia.

Da un punto di vista biografico, è certo degno di nota che Einstein e Poincaré fossero in grado di prendere parte ad attività tecniche e filosofiche così variegate, come grandi maestri di scacchi che giocano diverse partite simultaneamente e riescono a trovare una *singola* mossa che gli consente di dare scacco matto in tutte. Ma quella degli scacchi è un'analogia debole. La fisica, la filosofia e la tecnologia erano "giochi" molto diversi tra loro, e le conseguenze della mossa della simultaneità furono enormi in ciascuno di essi. I filosofi del Circolo di Vienna, non meno dei migliori fisici degli anni Venti e degli ingegneri che lavorarono al *Global Positioning System* negli anni Ottanta, guardarono tutti alla simultaneità di Poincaré-Einstein come a un modello per l'elaborazione dei concetti scientifici futuri.

Alla fine, tuttavia, la storia opalescente della coordinazione del tempo risulta falsata dalla sua riduzione alla biografia. Se si finisce per costringere il quadro alle dimensioni di un ritratto si rendono invisibili le ampie e controverse convenzioni sulla misurazione dello spazio e del tempo che percorsero l'Europa e gli Stati Uniti. Non perché l'immaginazione di Einstein e quella di Poincaré fossero troppo limitate, ma perché "la misura del tempo" fluttuava attraverso molte scale diverse. La coordinazione del tempo era diventata un problema moderno in virtù della regolazione convenzionale dei segnali che fluivano attraverso gli osservatori, i cavi, le reti ferroviarie e le città. Abbiamo un'analogia migliore: le isoterme e le isobare trasformarono e, in parte, resero possibile la meteorologia predittiva. Analogamente, la rete elettrificata di orologi che si estendeva in tutto il mondo trasformò la sincronizzazione in un problema squisitamente moderno, risolvibile mediante una procedura definita in termini di macchine - anche se si trattava di macchine destinate a essere infinite e teoriche.

È raro imbattersi in un'epoca o in un luogo in cui tecnica, filosofia e scienza siano

tutte altrettanto *centrali* - ancor più che incontrare quegli sviluppi della fisica che vengono tradizionalmente descritti come “rivoluzioni”. Nel XIX secolo la storia dell’entropia e quella dell’energia possono presentare analoghi cambiamenti di scala: pensate alla decisiva intersezione delle macchine a vapore, della termodinamica e delle discussioni quasi-teologiche sull’inesorabile “morte termica” dell’Universo. Per trovare una miscela più recente di astrazione e concretezza che sia paragonabile a questa, possiamo guardare all’esplosione delle “scienze dell’informazione” nel XX secolo: cibernetica, informatica, scienze cognitive. La ricca storia dei dispositivi dotati di *feedback*, che derivavano dalla produzione di armi in tempo di guerra, trovò qui una convergenza con le più arcane traiettorie della teoria dell’informazione e dei modelli della mente umana. La misurazione del tempo, la termodinamica, la teoria della computazione: ciascuna di queste discipline definì un’epoca sia dal punto di vista simbolico, sia da quello materiale. Ciascuna rappresentò un momento di opalescenza critica in cui diventò impossibile esercitare il pensiero astratto senza fare ricorso alle macchine, e quello materiale senza affidarsi a concetti universalmente validi.

GUARDANDO IN ALTO, GUARDANDO IN BASSO

I tempi cambiarono. Einstein lasciò l’Ufficio brevetti di Berna il 15 ottobre 1909 per passare all’Università di Zurigo; il 1° aprile 1911 assunse un incarico di ruolo presso l’Università Karl-Ferdinand di Praga e, nella primavera del 1914, si trasferì all’Università di Berlino. Qui portò a compimento la teoria della relatività generale e divenne uno dei più attivi portavoce del movimento contro la guerra. Dopo la fine dei combattimenti, Favarger, l’*avatar* dell’unità cronometrica svizzera che abbiamo incontrato in precedenza, pubblicò la terza edizione del suo trattato tecnico, lungo 550 pagine, sulla misurazione elettrica del tempo, inquadrando ancora una volta il dettagliato contenuto elettrotecnico in una più ampia cornice culturale. La Grande Guerra, sosteneva, aveva contribuito ad ampi sviluppi tecnologici, ma aveva anche distrutto quella enorme ricchezza umana che era stata creata dalla pace duratura. Quello che era rimasto, viceversa, era “un cumulo di rovine, miserie e sofferenza”.²³ L’umanità aveva bisogno di lavorare per rimediare al disastro, e il lavoro, necessariamente, richiedeva tempo.

Il tempo, si infervorava Favarger, “non può essere definito nella sua sostanza; è, metafisicamente parlando, altrettanto misterioso della materia e dello spazio”. (Il tempo, a quanto pare, riusciva a ispirare discorsi metafisici anche a un imperturbabile orologiaio svizzero.) Tutte le attività dell’uomo, non importa se consce o inconscie, come dormire, mangiare, meditare o giocare, si svolgevano nel tempo. Senza un ordine, senza un progetto specifico, rischiamo di cadere in quell’anarchia contro la quale Favarger aveva lanciato il suo monito fin dai tempi in cui Gavril Princip sparò all’Arciduca Ferdinando. Ora, dopo la Grande Guerra, cresceva il rischio che la gente potesse cadere in una “miseria fisica, intellettuale e morale”. Qual era il rimedio? La precisa misurazione e determinazione del tempo con il rigore di un osservatorio astronomico. Ma per funzionare come antidoto, il tempo così misurato non poteva

rimanere isolato nella roccaforte degli astronomi; il suo rigore doveva essere distribuito elettricamente a tutti quelli che ne avevano bisogno o lo desideravano: “dobbiamo, in una sola parola, divulgarlo, *democratizzarlo*” per consentire alla gente di vivere e prosperare. Dobbiamo fare di ogni uomo un “*maître du temps*, padrone non solo dell’ora, ma anche del minuto, del secondo e persino, in certi casi, del centesimo, del millesimo, del milionesimo di secondo”.²⁴ Il tempo distribuito e coordinato con precisione era più che denaro per Favarger: garantiva l’accesso di ciascuno alla disciplina interiore ed esteriore, alla libertà dal disordine e dall’anarchia.

Alla fine del XIX secolo e nella prima parte del XX, gli orologi coordinati non furono mai soltanto aggregati di congegni meccanici e magneti. Certo, sia per Einstein sia per Poincaré il tempo fu di più di qualcosa di semplicemente tecnico. E fu molto di più che un insieme di cavi e scappamenti anche per gli anziani abitanti dei villaggi del New England, per i veterani delle campagne sui fusi orari, per i generali prussiani, per i metrologisti francesi e per i promoter canadesi. Nella storia opalescente della coordinazione del tempo, gli orologi catturavano le trasmissioni nervose e i tempi di reazione, strutturavano i luoghi di lavoro e guidavano l’astronomia. Ma i due grandi domini del tempo materiale, in cui si produsse un reale cambiamento di scala, erano incentrati sulle ferrovie e sulle mappe. Il *Bureau des Longitudes*, che Poincaré contribuì a far funzionare, fu uno dei grandi centri mondiali per la determinazione del tempo e la costruzione di mappe. E l’Ufficio brevetti svizzero, dove Einstein montava di guardia come sentinella dei progetti, era il grande punto d’ispezione del paese per le tecnologie che si proponevano di sincronizzare il tempo nelle ferrovie e nelle città.

La mia speranza, nell’esplorare la coordinazione degli orologi, è stata quella di collocare Poincaré ed Einstein in un universo di azioni che portavano i meccanismi a incrociarsi con la metafisica, che producevano concretezza astratta o, se preferite, astrazioni concrete. Più in generale, forse, possiamo continuare a guardare alla scienza in un modo che eviti due posizioni altrettanto problematiche sulla relazione tra i pensieri e le cose. Da una parte, vi è una lunga tradizione che potrebbe essere descritta come materialismo riduttivo, la concezione che degrada idee, simboli e valori a increspature di superficie, determinate da una corrente più profonda di oggetti. Attraverso queste lenti empiriste, dagli anni Venti fino agli anni Cinquanta, la fisica teorica e la sua filosofia sembrarono spesso solo un provvisorio incremento della scienza, non il suo baluardo. Einstein (in quest’ottica) appariva come colui che aveva compiuto l’ultimo inesorabile passo in un processo induttivo che gradualmente eliminò l’etere e gli assoluti dello spazio e del tempo. Il moto della Terra attraverso l’etere non poteva essere rilevato con un’accuratezza migliore del rapporto della velocità della Terra con la velocità della luce (v/c , cioè circa uno su diecimila). In seguito queste misurazioni furono perfezionate, mostrando che non vi era evidenza alcuna del moto fino a un’accuratezza molto più alta (di secondo ordine in v/c , cioè uno su cento milioni), e *dunque*, stando a questa interpretazione, Einstein concluse che l’etere era “superfluo”.²⁵ Indubbiamente, si può dire molto a favore di questo Einstein che fonda la teoria sugli esperimenti. Il suo interesse per i dettagli dell’attività sperimentale e il suo lavoro sulla bussola giroscopica presso la *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* ci rivelano un teorico con un chiaro senso delle procedure di laboratorio e delle caratteristiche operative delle macchine. Dal punto di

vista empirista, le cose strutturarono i pensieri.

L'altra faccia della medaglia fu il movimento antipositivista, popolare negli anni Sessanta e Settanta. Erano i pensieri a strutturare le cose. Gli antipositivisti miravano a invertire l'ordine epistemico fissato dalla generazione precedente; pensavano che i programmi, i paradigmi e gli schemi concettuali venissero prima, e che questi avessero completamente riformato esperimenti e strumenti di laboratorio. Nelle ricostruzioni antipositiviste, Einstein appariva come l'innovatore filosofico che faceva volentieri a meno del mondo materiale per perseguire simmetria, principi e definizioni operative. Anche in questo vi è molto di vero - leggere la storia attraverso le lenti antipositiviste mette in luce quei momenti in cui Einstein era cauto riguardo ai risultati sperimentali, dubbioso, per esempio, nei confronti delle presunte confutazioni della relatività speciale ottenute in laboratorio e delle osservazioni astronomiche che pretendevano di minacciare la teoria della relatività generale.

Nel riconoscere a entrambi questi modi leggere la storia ciò che loro è dovuto, non è mia intenzione collocarmi a metà strada. Piuttosto, l'analisi dei momenti di opalescenza critica offre una via d'uscita da questa interminabile oscillazione tra il pensare che l'oggetto della storia siano in ultima analisi le idee e il pensare che siano, invece, fondamentalmente gli oggetti materiali. Orologi, mappe, telegrafi, macchine a vapore, computer, sollevano tutti questioni che rifuggono da una sterile dicotomia di cose e pensieri.²⁶ In ciascun caso, vi è un'intersezione di problemi fisici, filosofici e tecnologici. Scrutando attraverso il significato metaforico possiamo trovare il significato letterale; attraverso quello letterale possiamo capire quello metaforico.

Quando Einstein arrivò all'Ufficio brevetti di Berna nel 1902, entrò in un'istituzione in cui il trionfo dell'elettricità sulla meccanica era già simbolicamente collegato ai sogni della modernità. La coordinazione degli orologi era un problema pratico, che richiedeva (per far fronte alle esigenze di treni, truppe e telegrafi), soluzioni praticabili e brevettabili proprio nell'area del suo principale interesse professionale: la strumentazione elettromeccanica di precisione. L'Ufficio brevetti non era altro che quella nave faro sperduta nel mare di cui vagheggiava il non più giovane Einstein quando parlò alla Albert Hall nei giorni cupi dell'ottobre 1933. Esaminando un brevetto dopo l'altro nell'ufficio di Berna, Einstein aveva un posto in tribuna per assistere alla grandiosa marcia delle tecnologie moderne. E quando gli orologi coordinati sfilavano in parata, non procedevano da soli. La rete della crono-coordinazione elettrica produsse, nello stesso tempo, un'unità politica, culturale e tecnica. Einstein si impadronì di questa nuova macchina convenzionale, che diffondeva la simultaneità in tutto il mondo, e la installò al principio della sua nuova fisica. In un certo senso, egli completò il grande progetto di coordinazione del tempo del XIX secolo, ideando una nuova macchina molto più generale, valida ovunque e per tutti i sistemi di riferimento in moto uniforme che potessero essere immaginati nell'Universo. Ma, eliminando l'orologio maestro, e collocando il tempo definito convenzionalmente al *punto di partenza*, Einstein fu considerato sia dai fisici sia dalla gente comune come colui che aveva cambiato il mondo in cui vivevano.

Prima di morire Poincaré fu co-autore di un libro intitolato *Cosa dicono i libri, cosa dicono le cose*. Questo bizzarro volume combinava gli sforzi delle due grandi accademie di cui egli faceva parte: la letteraria *Académie Française* e la scientifica *Académie des*

Sciences. Dal versante letterario giunsero articoli sugli eroi della cultura, tra cui Hugo, Voltaire e Bossuet. Poincaré stesso contribuì con capitoli sulle stelle, sulla gravità e sul calore, ma anche sulle miniere di carbone, sulle batterie e sulle dinamo. Era a suo agio sia tra i filosofi sia tra i matematici e gli ingegneri, e la sua produzione, compreso il lavoro sulla simultaneità, fu decisiva per tutte queste culture.

La posizione di Einstein rispetto alle grandi accademie scientifiche fu assai diversa. Subito dopo la Prima Guerra Mondiale, Arthur Eddington, il celebre astrofisico britannico, colse l'occasione di un'eclisse solare totale per misurare la deflessione della luce stellare causata dall'attrazione gravitazionale del Sole (o, come avrebbe detto Einstein, dalla curvatura dello spazio-tempo causata dalla massa del Sole). La teoria generale della relatività ottenne così la sua conferma sperimentale e la notizia finì sulle prime pagine di tutti i giornali. Da un giorno all'altro Einstein divenne un personaggio di fama mondiale. Sotto i riflettori della critica dato il crescente ruolo pubblico, il suo lavoro sulla relatività si indirizzò dopo il 1919 verso l'unificazione astratta delle forze fisiche, allontanandosi dalla cultura delle macchine che aveva caratterizzato gli anni all'Ufficio brevetti. Pochi giorni dopo il discorso del 1933 alla Royal Albert Hall, Einstein partì per gli Stati Uniti, dove iniziò a condurre una venerata esistenza quasi monastica presso lo *Institute for Advanced Study* di Princeton. Per metà veggente e per metà mascotte, parlava in termini oracolari di qualsiasi cosa, dal significato di Dio al futuro della guerra nucleare. Nell'aprile del 1953, due anni prima della morte, Einstein scrisse da Princeton a Maurice Solovine rammentandogli le risate e le brillanti idee che avevano caratterizzato gli anni della loro Accademia così poco accademica, nel periodo trascorso a Berna, quando brevetti, fisica e filosofia procedevano fianco a fianco:

All'immortale "Akademie Olympia"

Nella tua breve esistenza attiva hai provato un entusiasmo infantile verso tutto ciò che era chiaro e ragionevole. I tuoi membri ti hanno creata per divertirsi alle spalle delle tue grandi sorelle, che erano più vecchie e gonfie d'orgoglio. Sono giunto ad apprezzare pienamente sino a che punto [attraverso di te, i tuoi membri] riuscirono a imbattersi nel vero per mezzo di accurate osservazioni durate lunghi anni.

Noi tre, almeno, ti siamo tutti rimasti fedeli. Sebbene piuttosto decrepiti, seguiamo ancora il sentiero solitario della nostra vita, rischiarati dalla tua luce pura e ispiratrice; perché, diversamente dai tuoi membri, tu non sei diventata vecchia e informe, come una pianta buona per la semina. A te giuro fedeltà e devozione fino al mio ultimo dotto respiro! Da uno che da ora in poi sarà solo membro per corrispondenza, A.E.²⁷

Alla svolta del secolo, mentre erano alle prese con il tempo, la filosofia e la relatività, Poincaré faceva parte delle *académies* parigine delle arti e delle scienze, Einstein della (anti-accademica) Akademie Olympia. Il 15 marzo 1955, Michele Besso morì. Era stato con lui che Einstein aveva discusso in modo così produttivo nelle settimane e nei mesi che precedettero il momento in cui capì che la coordinazione degli orologi era la chiave per completare il suo lavoro sulla relatività speciale. Egli scrisse alla famiglia Besso il giorno 21, terminando la sua lettera con un ultimo ricordo di quelle chiacchierate e della natura prospettica del tempo che emergeva dalla relatività: "[...] fu l'Ufficio brevetti che ci riunì [dopo Zurigo]. Le nostre conversazioni sulla via di casa erano di un fascino incomparabile; era come se

le cose mortali non esistessero affatto. Ora lui ha preso congedo da questo strano mondo un po' prima di me. Ciò non significa niente. Per noi fisici di fede, la distinzione tra passato, presente e futuro ha solo il significato di un'illusione, per quanto tenace".²⁸

Molto tempo dopo che anche Einstein ebbe esalato l'ultimo dotto respiro, infuriava ancora la battaglia tra le numerose interpretazioni rivali della coordinazione regolata degli orologi. Il tempo sincronizzato rimaneva fortemente simbolico. L'*Einheitszeit* non emerse mai dalla disputa tra l'impero, la democrazia, il cosmopolitismo e l'anti-anarchismo. Quello che tutti questi simboli avevano in comune era l'idea che un singolo orologio significasse l'individualità, e così la coordinazione degli orologi finì per simboleggiare una logica di legami tra le persone e tra i popoli che oscillava continuamente fra il metaforico e il letterale. Proprio perché era astrattamente concreto (o concretamente astratto), il progetto della coordinazione del tempo per le città, le regioni, i paesi e, alla fine, per il mondo intero, diventò una delle strutture che definivano la modernità. La sincronia degli orologi rimane una matassa inestricabile di storia sociale, storia culturale e storia intellettuale; di tecnica, filosofia e fisica.

Negli ultimi trent'anni è diventato un luogo comune contrapporre le spiegazioni *bottom-up* a quelle *top-down*. Nessuna delle due va bene per il tempo. Un detto medievale che mirava a catturare i legami tra alchimia e astronomia, recitava così: guardando in basso, vediamo ciò che è in alto; guardando in alto, vediamo ciò che è in basso. Tale visione della conoscenza può servire anche a noi. Perché guardando in basso (alla rete di orologi regolati elettro-magneticamente), vediamo ciò che è in alto: le immagini dell'impero, della metafisica e della società civile. Guardando in alto (verso la filosofia dei concetti procedurali di tempo, di spazio e di simultaneità elaborati da Einstein e da Poincaré) vediamo ciò che è in basso: i cavi, i congegni e gli impulsi che attraversavano l'Ufficio brevetti di Berna e il *Bureau des Longitudes* di Parigi. Troviamo la metafisica nelle macchine e le macchine nella metafisica. La modernità, giusto in tempo.

NOTE

1. SINCRONIA

[1.](#) Einstein (1949, p. 75). Sul “tic-tac” universale vedi Einstein (1917-1950, pp. 403-406). Sui concetti di spazio e di tempo newtoniani vedi Rynasiewicz (1995).

[2.](#) Oggi possiamo leggere l’opera di Einstein attraverso la straordinaria ricostruzione offerta da diverse generazioni di storici. La letteratura è sterminata, sicché non posso che limitarmi ad alcuni riferimenti - i quali offriranno spunti per ulteriori letture. Per un superbo commento delle edizioni e una meticolosa riproduzione dei documenti, vedi Stachel et al., (1987). Per la letteratura secondaria, vedi Holton (1973), Miller (1981), Miller (1986), Darrigol (2000), Pais (1982), Warwick (1991), Warwick (1992, 1993), Paty (1993), Janssen (1995) e Fölsing (1997). Per una raccolta di saggi dei principali allievi vedi Galison, Gordin, Kaiser (2001). Infine, per ulteriori disamine storiche della relatività il lettore è rimandato all’ampia bibliografia contenuta in Cassidy (2001).

[3.](#) Gli studi su Poincaré, anch’essi numerosi, stanno toccando il loro punto più alto grazie all’opera degli *Archives Henri Poincaré*, presso l’Università di Nancy, cui si deve la pubblicazione della corrispondenza scientifica. Vedi, per esempio, Nabonnand (1993); gli articoli editi sono per lo più in Poincaré (1934-1953). Per una panoramica della letteratura corrente sull’opera tecnica di Poincaré in relazione ai punti qui citati vedi la precedente nota 2, in particolare, i testi di Darrigol e di Miller, nonché quello di Paty sul legame tra la fisica e la filosofia di Poincaré; vedi anche i saggi raccolti nell’eccellente volume di Greffe, Heinzmann, Lorenz (1996); sul ruolo di Poincaré divulgatore e filosofo, vedi infine Rollet (1999), che contiene anche una raffinata bibliografia.

[4.](#) Galison (1979).

[5.](#) Einstein (1905, p. 150).

[6.](#) *Ibidem*.

[7.](#) Per le fonti vedi nota [2](#); sull’etere, vedi Cantor, Hodge (1981).

[8.](#) Per la sua discussione con Einstein sul tempo assoluto vedi Heisenberg (1971). Anche altri teorici della meccanica quantistica (Max Born e Pascual Jordan) modellarono la loro nuova fisica sulla concezione einsteiniana della natura convenzionale della simultaneità; vedi Cassidy (1992, p. 198). Sulla “battuta” di Einstein, vedi Franck (1953).

[9.](#) Schlick (1936, p. 327).

[10.](#) Quine (1990, p. 64).

[11.](#) Einstein (1960, pp. 238-239, in particolare p. 238).

[12.](#) Einstein (1949, p. 76).

[13.](#) Barthes (1972, pp. 87-89).

[14.](#) Poincaré (1908, p. 43).

[15.](#) Poincaré (1902a, cap. 5).

[16.](#) Citato in Seelig (1956, p. 71).

[17.](#) Di insiemi di orologi a distanza discussero, tra gli altri, Charles Wheatstone e William Cooke, l’orologiaio scozzese, Alexander Bain, e l’inventore americano, Samuel F.B. Morse. Per Wheatstone, Cooke e Morse la coordinazione degli orologi era conseguenza del loro lavoro sulla telegrafia. Vedi Welch (1972, pp. 71-72).

[18.](#) Per discussioni antecedenti al Novecento circa l’estensione dell’opera di coordinazione degli orologi vedi Favarger (1884-1885, in particolare pp. 153-158); Favarger (1917); vedi anche Ambronn (1899, in particolare vol. I, pp. 183-187). Sull’espansione della rete di Berna, vedi *Gesellschaft für elektrische Uhren in Bern, Jahresberichte*, 1890-1910, Stadtarchiv Bern.

[19.](#) Bernstein (1897, pp. 62-64, 100-104). Desidero ringraziare Jürgen Renn per le proficue discussioni su

Bernstein.

[20.](#) Poincaré (1898b, pp. 40-41).

[21.](#) *Ibidem*, p. 41.

[22.](#) *Ibidem*.

2. CARBONE, CAOS E CONVENZIONE

[1.](#) Poincaré (1910c, pp. 266-267).

[2.](#) *Ibidem*, pp. 268, 272-273.

[3.](#) *Ibidem*, pp. 274-275, 278-279.

[4.](#) Cahan (1989), in particolare cap. I.

[5.](#) La stella polare di Monge, la geometria descrittiva, precipitò nel curriculum degli studi da 153 ore (nel 1800) a 92 ore (1842). Nel frattempo, l'analisi, lo studio rigoroso delle funzioni matematiche, balzò al primo posto, abbandonando il ruolo secondario precedentemente attribuitole. Vedi Belhoste, Dahan, Dalmedico e Picon (1994); e Shinn (1980). Sulla geometria proiettiva di Monge, vedi Daston (1986). Più in generale, sull'insegnamento della fisica vedi, oltre ai già citati articoli di Warwick, Olesko (1991) e Kaiser (2000).

[6.](#) Su Cornu vedi Poincaré (1910a, in particolare pp. 106, 120-121); la versione originale è dell'aprile 1902; vedi Rolla (1999, p. 409). Quanto all'opera di Cornu vedi Cornu (1894).

[7.](#) Per Picon bisognerebbe parlare di una distanza dall'esperimento e non, come fa Shinn, di un curriculum di studi caratterizzato da un'aperta ostilità nei confronti dell'attività sperimentale; vedi Belhoste, Dahan, Dalmedico e Picon (1994, pp. 170-171) e Shinn (1989).

[8.](#) Vedi le lettere di Poincaré alla madre; per esempio, C76/A74, C97/A131, C112/A150, C114/A152, C116/162, in *Correspondance de Henri Poincaré* (inedito, Archives - Centre d'Etudes et de Recherche Henri Poincaré, 2001), tutte risalenti all'anno accademico 1873-1874.

[9.](#) C79/A92, in *Correspondance de Henri Poincaré* (inedito, Archives - Centre d'Etudes et de Recherche Henri Poincaré, 2001).

[10.](#) Roy e Dugas (1954, p. 8).

[11.](#) Vedi Nye (1979). Citazioni dall'Archives - Centre d'Etudes et de Recherche Henri Poincaré microfilm n. 3, n.d. (probabilmente 1887) in Rollet (1999), pp. 78-79 (in particolare p. 79); ma vedi anche p. 104. Sul dibattito sui limiti della scienza, vedi Anderton (1993).

[12.](#) Calinon (1885, p. 87).

[13.](#) *Ibidem*, pp. 88-89; lettera di Calinon a Poincaré, 15 agosto 1886, in *Correspondance de Henri Poincaré* (inedito, Archives - Centre d'Etudes et de Recherche Henri Poincaré, 2001).

[14.](#) Calinon a Poincaré, 15 agosto 1886, in *Correspondance de Henri Poincaré* (inedito, Archives - Centre d'Etudes et de Recherche Henri Poincaré, 2001).

[15.](#) Roy e Dugas (1954, p. 20).

[16.](#) *Ibidem*, p. 18.

[17.](#) *Ibidem*, pp. 17-18.

[18.](#) *Ibidem*, p. 23. Sull'appuntamento di Caen, vedi Gray e Walter (1997, p. i).

[19.](#) Sull'enfasi di Poincaré sulle curve, vedi Gray (1992); Gilain (1991); Goroff (1993, p. 19). Due bei articoli su Poincaré e il caos sono Gray (1997) e (più tecnico) Andersson (1994).

[20.](#) Poincaré (1881, pp. 376-377, corsivo nostro).

[21.](#) Poincaré (1885, p. 90).

[22.](#) Barrow-Green (1997, pp. 51-59).

[23.](#) Poincaré (1898a, p. 132).

[24.](#) Mittag-Leffler a Poincaré, 16 luglio 1889, lettera 89 in Poincaré (1999).

[25.](#) "Io credevo che *tutte le* curve asintotiche, dopo essersi discostate da una curva chiusa che rappresenta una soluzione periodica, si avvicinassero asintoticamente alla *stessa* curva chiusa." Poincaré a Mittag-Leffler, 1 dicembre 1889, lettera 90 in Poincaré (1999).

[26.](#) Poincaré a Mittag-Leffler, 1 dicembre 1889, lettera 90 in Poincaré (1999).

[27.](#) Mittag-Leffler a Poincaré, e note allegate, 4 dicembre 1889, lettera 92 in Poincaré (1999).

[28.](#) Weierstrass a Mittag-Leffler, 8 marzo 1890, nota alla lettera 92 in Poincaré (1999).

[29.](#) Per una descrizione accessibile dei fenomeni caotici, vedi Ekeland (1988) e Diacu e Holmes (1996), dal quale sono tratte le seguenti figure; per una discussione più tecnica vedi Barrow-Green (1997) e Goroff,

introduzione a Poincaré (1993).

[30.](#) Poincaré (1993, p. 1059).

[31.](#) Sull'interpretazione postmodernista del caos vedi, per esempio, Hayles (1991); Wise e Brock (1998); sulla fisica e sul legame tra fisica del caos e arte vedi il sito di Eric J. Heller www.ericjhellergallery.com (accesso 19 giugno, 2002).

[32.](#) Poincaré (1890, p. 490).

[33.](#) Poincaré (1892-1894, prefazione vol. 1).

[34.](#) Poincaré (1887, p. 91).

[35.](#) Poincaré (1902a, p. 75).

[36.](#) Giedymin (1982, pp. 21-23: la citazione è a p. 23).

[37.](#) Su Riemann vedi, per esempio, Grünbaum (1963) e (1968). Su Helmholtz come fonte di Poincaré vedi Heinzmann (2001). Sulla lettura delle fonti del convenzionalismo matematico di Poincaré da fonti più contemporanee quali Jordan o Hermite vedi Gray e Walter (1977, p. 20).

[38.](#) Poincaré (1902a, pp. 85-87).

3. LA MAPPA ELETTRICA DEL MONDO

[1.](#) Decazes (1875, p. 36). Per un'eccellente introduzione alla storia morale e tecnica della standardizzazione, vedi Wise (1995), nonché gli ulteriori riferimenti nei ricchi saggi di Simon Schaffer, M. Norton Wise, Graham Gooday, Ken Alder, Andrew Warwick, Frederic Holmes e Kathryn Olesko. Sull'originaria missione per fissare il metro, vedi Alder (2002).

[2.](#) Dumas (1875, pp. 121-130; in particolare pp. 126-127).

[3.](#) Vedi Guillaume (1890).

[4.](#) "Comptes rendus des séances de la première conférence générale des poids et mesures", Poincaré (1897). Dopo la sepoltura di M, la metrologia si risolse per un diverso tipo di procedura, in cui la lunghezza d'onda della luce diventava lo standard della lunghezza - rimpiazzando quella sbarra così speciale con un certo numero di lunghezze d'onda del cesio. Questo amalgama di metrologisti e spettroscopisti, astrofisici e ottici, è ricostruito in due bei lavori: Bigg (2002) e Staley (2002).

[5.](#) "Le Nouvel étalon du mètre" (1876).

[6.](#) *Le Temps*, 28 settembre 1889, 1.

[7.](#) Vedi, per esempio, in *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*: Violle, "Sur l'alliage du kilogramme" (1889); Larce, "Sur l'extension du système métrique" (1889); Bosscha, "Études relatives à la comparaison du mètre international" (1891); Foerster, "Remarques sur le prototype" (1891, p. 414).

[8.](#) Extrait du Rapport du Chef du Service Technique", Ponts et Chaussées, 5 marzo 1881. Archives de la Ville de Paris, VONC 219.

[9.](#) Dohrn-van Rossum (1996, p. 272).

[10.](#) "Conseil de L'Observatoire de Paris, Présidence de M. Le Verrier" [1875]; Le Verrier a M. le Préfet [Gennaio? 1875?], entrambi in Archives de la Ville de Paris, VONC 219.

[11.](#) "Projet d'Unification de l'heure dans Paris. Rapport de la Commission des horloges", 22 gennaio 1879. Archives de la Ville de Paris, VONC 219.

[12.](#) Tresca, "Sur le réglage électrique de l'heure" (1880); Ingénieur en Chef, Adjoint aux Travaux de Paris, "Quelques Observations en Réponse au Rapport du 25 novembre 1880". Archives de la Ville de Paris, VONC 219.

[13.](#) Vedi, per esempio, G. Collin a M. Williot, 23 settembre 1882; G. Collin a M. Chrétien, 10 aprile 1883; entrambi in Archives de la Ville de Paris, VONC 219.

[14.](#) Breguet (1880); sulla coordinazione del tempo a Parigi, vedi anche David Aubin, "Fading Stars", in corso di pubblicazione.

[15.](#) M. Faye a M. le Directeur, Direction des Travaux de Paris, 16 gennaio 1889. Archives de la Ville de Paris, VONC 219.

[16.](#) Nordling (1888, pp. 193).

[17.](#) *Ibidem*, pp. 198, 200-201 e 202.

[18.](#) *Ibidem*, p. 211.

[19.](#) Sobel (1995), e Bennett (2002).

[20.](#) GP. Bond ad A.D. Bache. Supt. USCS. 28 febbraio 1849. Harvard University Archives, Harvard College

Observatory, Cambridge, Massachusetts. Spedizione Cronometrica, lettere, rapporti, miscellanea; BOX 1: Rapporti.

[21.](#) W.C. Bond, "Rapporto del Direttore" (4 dicembre 1850).

[22.](#) W.C. Bond "Rapporto del Direttore" (4 dicembre 1851, pp. CLVI-CL-VII); G.P. Bond ad A.D. Bache, Supt. USCS. 22 ottobre 1851. Entrambi i documenti sono conservati negli Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Spedizione Cronometrica, lettere, rapporti, miscellanea; BOX 1: Rapporti.

[23.](#) Stephens(1987,p.378).

[24.](#) Stephens(1989,p. 17); il quale cita, a p. 19, Shaw (1978, pp. 31-33).

[25.](#) Bartky(2000,p.64).

[26.](#) "Rapporto del Direttore" (1853, p. CLXXI).

[27.](#) La letteratura sui singoli osservatori è semplicemente sterminata, e non c'è rassegna migliore dei vari ruoli svolti nella coordinazione del tempo di quella di Bartky (2000), che si concentra sul caso americano.

[28.](#) Jones e Boyd (1971, p. 160); accordo con Boston & Providence Railroad, Boston & Lowell, Eastern Railroad Company, Boston e Maine Co., ecc. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts, Observatory Time Service, 1877-92. BOX 1, cartella 7.

[29.](#) "Historical Account" (1877, pp. 22-23).

[30.](#) Pickering, *Annual Report of the Director* (1877, pp. 10-11).

[31.](#) Rapporto di Leonard Waldo, assistente del Prof. Edward C. Pickering, Direttore dell'Osservatorio di Harvard College, 20 novembre 1877, Appendice C in Pickering (1877, pp. 28-36).

[32.](#) George H. Clark, Titolare, Rhode Island Card Board al Direttore dell'Osservatorio di Cambridge, 16 maggio 1877. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Riferimento corrispondenza: Segnali orari. Cartella 2.

[33.](#) Waldo, "Appendice C" (1877, pp. 28-29).

[34.](#) *Ibidem*, pp. 33-34.

[35.](#) Charles Teske a Leonard Waldo, 12 luglio, 8 agosto, 15 agosto e 11 novembre 1878. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Riferimento corrispondenza: Segnali orari. Cartella 1.

[36.](#) Leonard Waldo, rapporto manoscritto al Direttore per l'anno conclusosi il 1 novembre 1878. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Observatory Time Service, 1877-92. BOX 1, cartella 8.

[37.](#) Charles Teske a Leonard Waldo, [giorno illeggibile] dicembre 1878 e 15 aprile 1879. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Riferimento corrispondenza: Segnali orari. Cartella 1; "Legge del Connecticut, approvata il 9 marzo 1881", Statuti del Connecticut, 1881, Cap. XXI. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Observatory Time Service, 1877-1892. BOX 1, cartella 6; S.M. Seldon (Gen. Mgr. New York e New England RR Co.) a W.F. Allen, 23 marzo 1883, William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: Segnali orari. Cartella 2.

[38.](#) T.R. Welles a L. Waldo, 5 dicembre 1877. Harvard University Archives, Harvard College Observatory, Cambridge, Massachusetts. Riferimento corrispondenza: Segnali orari. Cartella 2.

[39.](#) *Proceedings of the American Metrological Society* (1878, p. 37).

[40.](#) Bartky (1989, pp. 34-39).

[41.](#) "Rapporto della commissione sul tempo standard" (maggio 1879, p. 27).

[42.](#) *Ibidem*.

[43.](#) W.F. Allen a Cleveland Abbe, 13 giugno 1879. William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in uscita: BOX 3, libro VII, 1 ; le due Convenzioni del Tempo si fusero nel 1886, diventando l'*American Railway Association* che, in seguito, assunse il nome di *Association of American Railroads*. Vedi Bartky (1983, p. 13).

[44.](#) Cleveland Abbe a W.F. Allen, 14 giugno, 1879. William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 3, libro I.

[45.](#) Charles Dowd aveva in mente un sistema non distante da quello che venne adottato. Ma quando nel 1879 si rivolse ad Allen per chiedergli se fosse il caso che lui, Dowd, preparasse un articolo che illustrasse la sua idea per "l'ora nazionale" nella *Railway Guide* di Allen, quest'ultimo fece delle difficoltà, dicendo che non c'era spazio per l'intervento. Charles E Dowd a W.F. Allen, 30 ottobre 1879. William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 3, libro I; W.F. Allen a Dowd, 9 dicembre 1879. William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in uscita: libro VII. Lettere ristampate in Dowd (1930).

- [46.](#) Su Fleming, vedi Blaise (2000); Creet (1990); tra la letteratura meno recente segnaliamo Burpee (1915). Citazione in Fleming (1876, p. 1).
- [47.](#) Fleming (1876, pp. 14-15).
- [48.](#) *Ibidem*, pp. 31,32 e36-37.
- [49.](#) Fleming (1879, pp. 53-57). L'attacco alla posizione francese è a p. 63.
- [50.](#) Cleveland Abbe, Signal Office degli Stati Uniti, a Sandford Fleming, 10 marzo 1880. Barnard a Fleming, 18 marzo, 6 aprile 1880 e 29 aprile 1881. Tutte le lettere di Barnard a Fleming sono in Sandford Fleming Papers, National Archives of Canada, Ottawa, Ontario, MG 29 B 1 vol. 3. File: Baring-Barnard. Per Barnard che illustra un orologio, vedi *Proceedings of the American Metrological Society* (1883).
- [51.](#) Barnard a Fleming, 11 giugno 1881, Sandford Fleming Papers, National Archives of Canada, Ottawa, Ontario, MG 29 B 1 vol. 3. File: Baring-Bar-nard; Smyth, "Report to the Board of Visitors" (1871), R12-R20, in R19; per la reazione di Barnard al lavoro di Smyth più in generale, "The Metrology" (1884). Su Smyth e la sua metrologia teologico-naturale, vedi Schaffer (1997).
- [52.](#) Airy a Barnard, 12 luglio 1881, Fleming Papers, vol. 3, cartella 19.
- [53.](#) Barnard a Fleming, 19 agosto, 3 settembre e 8 settembre 1881, citazione dalla lettera del 3 settembre. Sandford Fleming Papers, National Archives of Canada, Ottawa, Ontario, vol. 3, cartella 19. Sul pasticcio della nomina di Thomson, vedi Barnard (1882).
- [54.](#) John Rodgers a Hazen, 11 giugno 1881. United States Naval Observatory LS-M vol. 4.
- [55.](#) "Rapporto alla commissione" [dicembre 1882].
- [56.](#) Col. H.S. Haines (Gen. Mgr., Charleston & Savannah Railway) a W.F. Allen, 12 marzo 1883. William F. Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 3, libro I,72.
- [57.](#) Allen (1883, pp. 2-6). W.F. Allen, Album di ritagli, presso la Widener Library, Harvard University.
- [58.](#) Allen (1883, p. 5).
- [59.](#) *Ibidem*, p. 6.
- [60.](#) I dati sul numero di lettere e telegrammi sono presi da Allen (1884, p. 42); i dati sul numero di linee dalle diverse città, da Bartky (1983, p. 5).
- [61.](#) Articolo di giornale, non firmato, in lettera a W.F. Allen da F.C. Nunenmacher (Central Vermont Railroad), 23 novembre 1883. William F. Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 5, libro IV, 158; E. Richardson (per D.D. Jayne and Son, Editori, Filadelfia) a W.F. Allen, 5 dicembre 1883. William F Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 5, libro V, p. 48.
- [62.](#) Vedi, per esempio, il telegramma del Col. A.A. Talmage (Gen. Transport. Mgr. of Missouri Pacific Railway), in Allen (1884, p. 42); S.W Cummings (Central Vermont Railroad) a W.F. Allen, 26 novembre 1883. William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 5, libro V, p. 18; e Gorge Crocker (Asst. Supt., Central Pacific R.R. San Francisco) a W.F. Allen, 8 ottobre 1883. William F Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 4, libro II, p. 97.
- [63.](#) John Adams (Gen. Supt., Fitchburg Railroad) a W.F. Allen, 2 ottobre 1883. William E Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 4, libro II, p. 68; W.F. Allen a John Adams, 4 ottobre 1883. William F. Allen Papers, New York Public Library Archives, New York City, NY. Corrispondenza in entrata: BOX 3, libro VII, p. 299.
- [64.](#) *Proceedings of the General Time Convention* (11 ottobre 1883).
- [65.](#) *Ibidem*.
- [66.](#) Per gli Stati Uniti e il Canada, *Proceedings of the Southern Railway Time Convention* (17 ottobre 1883).
- [67.](#) *Proceedings of the General Time Convention* (11 ottobre 1883).
- [68.](#) W.F Allen al Sindaco Franklin Edson richiede lo spostamento dell'ora di New York al 75° meridiano; seguita da Edson ad Alderman, 24 ottobre 1883, in Allen, a cura di, (1951, p. 17).
- [69.](#) 7 novembre 1883, in Allen, a cura di, (1951, p. 18).
- [70.](#) Barnard a Fleming, 22 ottobre 1883. Fleming Papers.
- [71.](#) De Bernardières (1884). Su de Bernardières: *Dossier sur Octave, Marie, Gabriel, Joachim de Bernardières, novembre 1886*. Archivi del servizio storico della Marina, Vincennes, No. 2879.
- [72.](#) Figura; dettagli tratti da www.porthcurno.org.uk/refLibrary/Construction.html (accesso del 14 febbraio 2002).
- [73.](#) Green (1877, pp. 9-10).
- [74.](#) *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1861, p. 23).
- [75.](#) Prima della guerra civile la qualità era quella di un processo piuttosto improvvisato. Per esempio,

l'Osservatorio di Dudley ad Albany, New York, cercò di determinare la propria posizione relativamente a quella di New York City, innalzando un filo che andava da un piccolo edificio di legno assemblato sul sito dell'Osservatorio alla residenza privata dell'astronomo Lewis M. Rutherfurd, Seconda Avenue e Undicesima Strada, New York City. Da B.A. Gould con gli osservatori Gorge F. Dean, Edward Goodfellow, A.E. Winslow e A.T. Mosman, appendice 18, in *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1862, pp. 221-223).

76. Introduzione, in *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1864); vedi anche Gould, appendice, pp. 18, 154-156; *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1866), in particolare pp. 21-23.

77. *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1867), in particolare 1-8 e *ibidem*. Gould, appendice 14, pp. 150-151.

78. *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1867, p. 60).

79. Vedi, per esempio, Prescott (1866), in particolare cap. XIV; Finn, "Growing Pains at the Crossroads" (1976); e il sito storico della provincia, "Heart's Content Cable Station" (www.lark.ieee.ca/library/hearts-content/historic/provsite.html, accesso dell'8 aprile 2002).

80. Sul precedente lavoro di Gould in America e sulla sua adozione delle tecniche britanniche, vedi Bartky (2000, pp. 61-72). Sul suo lavoro transatlantico, vedi Gould in *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1869, pp. 60-67).

81. Gould, in *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1869, p. 61).

82. Gould, in *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1869, pp. 63,65).

83. *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1873, pp. 16-18); appendice p. 18 in *Report of the Superintendent of Coast Survey* (1877, pp. 163-164). Il triangolo è in *Ibidem*, p. 164.

84. Green (1877).

85. Green, Davis e Norris (1880).

86. *Ibidem*, p. 8.

87. *Ibidem*, p. 9.

88. Davis, Norris e Laird (1885, p. 10).

89. *Ibidem*, p. 9.

90. De Bernardières (1884).

91. La Porte (1887).

92. Rayet e Salats (1890), B2.

93. Allegato III in *International Conference at Washington* (1884, p. 210).

94. *Septième Conférence Géodésique Internationale* (1883, p. 8).

95. *International Conference at Washington* (1884, p. 24).

96. *Ibidem*, p. 37.

97. *Ibidem*, pp. 39-41, in particolare p. 39. 98.

98. *Ibidem*, p. 41.

99. *Ibidem*, pp. 42-47, in particolare p. 47.

100. *Ibidem*, pp. 42,44 e 49-50.

101. *Ibidem*, p. 51.

102. *Ibidem*, pp. 52-54.

103. *Ibidem*, p. 54.

104. *Ibidem*, pp. 62-64, in particolare p. 64.

105. *Ibidem*, pp. 65-68, citazioni alle pp. 65,67, 68.

106. *Ibidem*, pp. 68-69.

107. *Ibidem*, pp. 76-80.

108. *Ibidem*, Lefavre alle pp. 91-92; per l'adozione del sistema metrico, vedi le pp. 92-93 ; Thomson, a p. 94; per il voto, vedi p. 99.

109. *Ibidem*, p. 141.

110. *Ibidem*, pp. 159,180.

111. Sulla storia del calendario rivoluzionario in Francia, vedi Baczko (1992); Ozouf (1992).

112. *International Conference at Washington* (1884), pp. 183-188, in particolare p. 184.

4. LE MAPPE DI POINCARÉ

1. Janssen (1885, p. 716).

- [2.](#) Alla Conferenza Telegrafica di Parigi del 1890, i convenuti caldeggiarono l'adozione di un'ora universale che fosse regolata in tutto il mondo su quella degli orologi situati sul meridiano fondamentale. Vedi *Documents de la Conférence Télégraphique* (1891, pp. 608-609).
- [3.](#) Howard (1979), citazione a p. 2, vedi anche p. 43.
- [4.](#) Bucholz (1991), capp. 2 e 3, in particolare pp. 146-147; vedi anche Bucholz (2001, pp. 72-73, 110-111, 162-163).
- [5.](#) La realizzazione dell'uniformità del tempo è discussa in Kern (1983, pp. 11-14), e in Howse (1980, pp. 119-120). Simon Schaffer, nel suo (1997) ricorre alla macchina del tempo di Wells come guida per cogliere l'intersezione di fine secolo tra i luoghi di lavoro meccanizzati e l'interesse scientifico-letterario per il tempo che trovava espressione appunto nelle "macchine del tempo".
- [6.](#) Moltke (1892, pp. 38-39 e 40); trad. inglese in Fleming (1891, pp. 25-27).
- [7.](#) Fleming (1891, p. 26).
- [8.](#) Ritagli di giornale presi dalla Cambridge University Library, inclusi: P.S.L., "Fireworks at the Royal Observatory", *Castle Review* (n.d.); Nigel Hamilton, "Greenwich: Having a go at Astronomy", *Illustrated London News* (1975); e Philip Taylor, "Propaganda by Deed - the Greenwich Bomb of 1894" (n.d.). Conrad (1953, pp. 28-29).
- [9.](#) Lallemand (1897, pp. 5-6).
- [10.](#) *Ibidem*, p. 7.
- [11.](#) *Ibidem*, pp. 8, 12.
- [12.](#) *Ibidem*, pp. 17, 18, 22-23.
- [13.](#) Poincaré, "Rapport sur la proposition des jours astronomique et civil" (1895), in Poincaré (1952).
- [14.](#) Presidente del Bureau des Longitudes, 15 febbraio 1897, *Décimalisation du temps et de la circonférence*, su ordine del Ministro della Pubblica Istruzione, 2 ottobre 1896. Dagli Archives Nationales, Paris.
- [15.](#) *Commission de décimalisation du temps*, 3 marzo 1897.
- [16.](#) *Ibidem*, p. 3.
- [17.](#) *Ibidem*, p. 3.
- [18.](#) Noblemaire al Presidente Loewy, 6 marzo 1897; stampato in *Commission de décimalisation du temps*, 3 marzo 1897, p. 5.
- [19.](#) Bernardières a Monsieur le Président du Bureau des Longitudes, 1 marzo 1897. Stampato in *Commission de décimalisation du temps*, 3 marzo 1897, p. 7.
- [20.](#) Bureau de la Société française de Physique a M. le Ministre du Commerce, approvato dal Conseil de la Société il 22 aprile 1897; riprodotto in Janet, "Rapport sur les projets de réforme" (1897, p. 10).
- [21.](#) Oltre al fattore di 4 già menzionato, la divisione del cerchio in 400 parti richiedeva un fattore di 6 per convertire le 24 ore del giorno nei 400 *grads* in cui era suddiviso il cerchio (dividendo 24 per 400 risultava un fattore di 6); l'ultimo fattore di 9 entrava in gioco quando si volevano convertire i vecchi angoli in quelli nuovi - moltiplicando per 360 e dividendo per 400. Il grafico è riprodotto in Poincaré (1897, p. 7).
- [22.](#) Il sistema di Sarrauton è presentato in Sarrauton (1897), e il contributo di Sarrauton è datato aprile 1896.
- [23.](#) *Commission de décimalisation du temps*, 7 aprile 1897, p. 3.
- [24.](#) Cornu (1897).
- [25.](#) *Ibidem*, p. 390.
- [26.](#) Poincaré (1897, pp. 678, 679).
- [27.](#) Note pour Monsieur le Ministre, 29 novembre 1905, Archives Nationales, Paris, F/17/2921.
- [28.](#) Sarrauton, *Deux Projets de loi*, indirizzata a Loewy, Bureau des Longitudes, 25 aprile 1899, Observatoire de Paris Archives, pp. 1, 7, 8.
- [29.](#) La Grye, Pujazon e Driencourt, *Différences de Longitudes*, (1897), A3.
- [30.](#) Headrick (1988, pp. 110-113).
- [31.](#) La Grye, Pujazon e Driencourt, *Différences de Longitudes*, (1897), A3.
- [32.](#) *Ibidem*, A13, citazione in A84.
- [33.](#) La Grye, Pujazon e Driencourt, *Différences de Longitudes*, (1897), A135-136.
- [34.](#) Headrick (1988, pp. 115-116).
- [35.](#) Per una discussione della campagna sulla differenza di longitudine tra Londra e Parigi, nonché per ulteriori riferimenti, vedi Christie (1906), capp. VI-VIII e pp. 1-8. Sulla desiderabilità di una rideterminazione vedi gli atti della Conferenza Geodetica Internazionale, Parigi, 1898.
- [36.](#) Lezioni del 1892-1893, ristampate in Poincaré (1894); vedi anche Poincaré (1904a), sul caso dei cavi sottomarini, p. 454.
- [37.](#) *Report of the Superintendent of the Coast Survey* (1869, p. 116).
- [38.](#) Loewy, Le Clerc e de Bernardières (1882), A26 e A203.

- [39.](#) Rayet e Salats (1890), B100.
- [40.](#) La Grye, Pujazon e Driencourt, *Différences de Longitudes*, (1897), A134.
- [41.](#) Calinon (1897, pp. 20-21).
- [42.](#) Calinon (1897, pp. 23,26). L'ex allievo dell'*École Polytechnique*, Jules Andrade, dice più o meno la stessa cosa ("c'è un'infinità di orologi ammissibili") nel suo libro sui fondamenti della fisica ultimato il 4 settembre 1897; vedi Andrade (1898, p. 2). Poincaré citò anche quest'opera ne "La misura del tempo" a sostegno della tesi che scegliere un orologio piuttosto che un altro è una questione di convenzione, e non ha a che vedere con il fatto che uno segni il tempo in modo corretto e l'altro in modo scorretto. Benché Poincaré indagasse la nozione quantitativa, "scientifica", di simultaneità, mentre Bergson si occupava principalmente dell'esperienza qualitativa del tempo, Bergson (1889) concentra la sua attenzione sul significato del tempo.
- [43.](#) Note pour Monsieur le directeur, 20 marzo 1900. Archives Nationales, Paris, F/17/13026. Martina Schiavon ricostruisce il ruolo dell'esercito, dei rilevatori e dei *savant-officier* nel suo documentatissimo studio, Schiavon (2001). Per uno studio ben strutturato del colonialismo e delle missioni di rilevamento (con molti altri riferimenti), vedi Burnett (2000).
- [44.](#) *Comptes rendus de l'Association Géodésique Internationale* (1899), 3-12 ottobre 1898, pp. 130-33,143-144; per il commento di Poincaré, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 131 (1900), lunedì 23 luglio, p. 218.
- [45.](#) Headrick (1988, pp. 116-117).
- [46.](#) Poincaré (1900a, p. 219).
- [47.](#) *Ibidem*, pp. 221-222.
- [48.](#) *Ibidem*, pp. 225-226.
- [49.](#) *Comptes rendus de l'Association Géodésique Internationale* (1901), 25 settembre-6 ottobre 1900, sessione del 4 ottobre; vedi anche Bassot, "Revision de l'arc" (1900), p. 1275.
- [50.](#) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 134 (1902), pp. 965-66, 968,969,970.
- [51.](#) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 136 (1903), p. 861.
- [52.](#) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 136 (1903), pp. 861-862.
- [53.](#) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 136 (1903), pp. 862, 868; sulla distruzione del campo *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 138 (1904), pp. 1014-1015 (lunedì 25 aprile 1904); sugli informatori nativi, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 140 (1905), pp. 998, 999 (lunedì, 10 aprile 1905); citazione da *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 136 (1903), p. 871.
- [54.](#) Rollet (1999, p. 165).
- [55.](#) Poincaré, "Sur le Principes de la mécanique"; originariamente in *Bibliothèque du Congrès international de philosophie* III, Paris (1901), pp. 457-494; modificato e ristampato in Poincaré (1902a), cap. 6, p. 143.
- [56.](#) Poincaré, "La meccanica classica", in Poincaré (1902a), cap. 6, pp. 171,175.
- [57.](#) Poincaré, "Le ipotesi della fisica"; originariamente "Les relations entre la physique expérimentale et la physique mathématique", in *Revue générale des sciences pures et appliquées* 11 (1900, pp. 1163-1175); ristampato in Poincaré (1902a), cap. 9, p. 219.
- [58.](#) Poincaré, "Intuizione e logica in matematica"; originariamente "Du rôle de l'intuition et de la logique en mathématiques", in *Comptes Rendus du deuxième Congrès international des mathématiciens tenu à Paris du 6-12 août 1900*; ristampato in Poincaré (1905, p. 12).
- [59.](#) Poincaré (1900c, pp. 415-416).
- [60.](#) Lorentz (1895).
- [61.](#) Poincaré (1901, pp. 530-532).
- [62.](#) Christie a Poincaré, 3 agosto 1899, accompagnata da Christie a Loewy, 1 dicembre 1898, e Christie al Colonnello Bassot (Directeur du Service Géographique de l'armée), 9 febbraio 1899. Observatoire de Paris, ref. X5, C6. Poincaré a Christie, 23 giugno 1899, 9 agosto 1899, e non datata (ma probabilmente di poco successiva al 9 agosto 1899), tutte tratte da "Christie Papere", Cambridge University Archives, MSS RGO 7/261.
- [63.](#) Poincaré (1900c, p. 437).
- [64.](#) Supponiamo che B invii un segnale *ad A* a mezzogiorno, lungo la distanza AB che va da A a B . B dovrebbe regolare il proprio orologio a mezzogiorno più il tempo di trasmissione (secondo la procedura usuale). Ma la velocità nella direzione di sinistra è $c+v$, così la velocità di trasmissione nella direzione contraria al vento t (controvento) è $AB/(c+v)$ e, per converso, la trasmissione del segnale nella direzione del vento è $AB/(c-v)$. Il tempo "reale" di trasmissione da B ad A è uguale alla metà del tempo impiegato dal segnale per il viaggio di andata e ritorno, $1/2 [t(\text{controvento}) + t(\text{a-favore-di-vento})]$, mentre il tempo di trasmissione apparente è solo $t(\text{a-favore-di-vento})$. Così l'errore commesso usando il tempo di trasmissione apparente è la differenza tra il tempo di trasmissione reale e quello apparente, ossia

Errore = $1/2 [t(\text{controvento}) + t(\text{a-favore-di-vento})] - t(\text{a-favore-di-vento})$.

Usando le definizioni di $t(\text{controvento})$ e $t(\text{a-favore-di-vento})$ date sopra:

$$\text{Errore} = 1/2 [AB(c+v) - AB(c-v)] = 1/2 AB(c+v-c+v)/c^2 - v^2 = \sim ABv/c^2.$$

Darrigol osserva giustamente che la maggior parte degli storici della relatività hanno ignorato questa interpretazione del tempo locale basata sulla coordinazione degli orologi, vedi Darrigol (2000, pp. 359-360); vedi anche la discussione di ampio respiro in Miller (2001, pp. 200-215); per ulteriori riferimenti vedi Stachel, *Einstein's Collected Papers*, vol. 2 (1989, p. 308n).

[65.](#) *Poincaré et les Physiciens*, corrispondenza non pubblicata dall'Archivio Henri Poincaré: allegato 3, documento 205,31 gennaio 1902.

[66.](#) *Poincaré et les Physiciens*, corrispondenza non pubblicata dall'Archivio Henri Poincaré: allegato 3, documento 205,31 gennaio 1902.

[67.](#) Poincaré (1982, p. 352).

[68.](#) Vedi l'eccellente discussione in Henri Rollet (1999, pp. 249 sgg., citazione a p. 263); vedi anche Débarbat (1996).

[69.](#) Poincaré (1903, p. 63).

[70.](#) *Ibidem*, pp. 63-64.

[71.](#) Débarbat (1996, p. 52).

[72.](#) Darboux, Appell e Poincaré, "Rapporto" (1908, pp. 538-549).

[73.](#) Poincaré (1904b, pp. 123-147, questa citazione è a p. 123).

[74.](#) *Ibidem*, p. 128.

[75.](#) *Ibidem*.

[76.](#) *Ibidem*, p. 133. Traduzione modificata: "*en retard*", dovrebbe essere reso con "spostato in avanti" - gli orologi non vanno a un ritmo più lento. Corsivo mio.

[77.](#) *Ibidem*, pp. 142,146-147. *Poincaré et les Physiciens*, corrispondenza non pubblicata dall'Archivio Henri Poincaré: documento 124, pp. 191-193, lettera di Poincaré a Lorentz (n.d.) ma di poco successiva al ritorno di Poincaré da Saint-Louis.

[78.](#) Lorentz (1904).

[79.](#) Poincaré (1953-54, pp. 220 e 222).

[80.](#) Poincaré (1908, p. 567).

[81.](#) Poincaré (1906).

[82.](#) *Poincaré et les Physiciens*, corrispondenza non pubblicata dall'Archivio Henri Poincaré: lettera 127, Lorentz a Poincaré, 8 marzo 1906.

5. GLI OROLOGI DI EINSTEIN

[1.](#) Sul tempo in Svizzera, vedi l'eccellente Messerli (1995), in particolare cap. 5. Per i dettagli biografici su Mathias Hipp, vedi de Mestral (1960, pp. 9-34); anche Weber e Favre (1897); Kahlert (1989). Sul rapporto tra Hipp e l'astronomo Hirsch, nonché sulla miriade di modi diversi in cui le nuove tecnologie di precisione sul tempo e la simultaneità unirono la storia della psicologia sperimentale a quella dell'astronomia, vedi gli eccellenti Canales (2001); Schmidgen (2002) e Charlotte Bigg (2002).

[2.](#) Su Hipp, vedi Kahlert (1989); Landes (1983, pp. 237-337), è un eccellente contributo sull'industria orologiera svizzera, per quanto si concentri sulla produzione, e non sulle reti, di orologi.

[3.](#) Vedi Favarger (1924, pp. 408-409).

[4.](#) "Die Zukunft der öffentlichen Zeit Angaben" (12 novembre 1890); Merle (1989).

[5.](#) Favarger (1902).

[6.](#) *Ibidem*, p. 199.

[7.](#) *Ibidem*, p. 200.

[8.](#) *Ibidem*, p. 201.

[9.](#) Kropotkin (1899, p. 287).

[10.](#) Favarger (1902, p. 202).

[11.](#) *Ibidem*, p. 203.

[12.](#) *Ibidem*. Quotidiano citato in Messerli (1995, p. 126).

[13.](#) Einstein (1895); Einstein (1969, p. 53).

[14.](#) Urner (1980, pp. 19-23).

- [15.](#) Vedi, per esempio, le note di Einstein sulle lezioni di Weber, in *Collected Papers*, vol. 1, p. 142. Il lavoro dello stesso Weber spaziava su una varietà di argomenti sperimentali e applicativi: dipendenza di temperatura dei calori specifici, la legge di distribuzione dell'energia per la radiazione dei corpi neri, circuiti a corrente alternata e filamenti di carbonio. Cfr. Note del Curatore, *Collected Papers*, vol. 1, p. 62; Barkan (1999, pp. 114-117).
- [16.](#) Vedi le note di Einstein sulle lezioni di Weber, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 51-53.
- [17.](#) Einstein a Mileva Marič, 10 settembre 1899, item 52, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 132-133.
- [18.](#) Einstein a Mileva Marič, agosto 1899; lettera 8 in Einstein, *Love Letters*, (1992); anche in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 130-131. Sulla conoscenza specifica di Einstein dell'elettrodinamica, vedi Holton (1973); Miller (1981); e Darrigol (2000).
- [19.](#) Su Einstein e l'etere, vedi il contributo dei curatori, "Einstein on the Electrodynamics of Moving Bodies", in *Collected Papers*, vol. 1, pp. 223-225 e Darrigol (2000, pp. 373-380). Sull'uso iniziale del principio di relatività da parte di Einstein, vedi *Ibidem*, p. 379.
- [20.](#) Einstein a Mileva Marič, maggio 1901, item 111, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, p. 174.
- [21.](#) Einstein a Mileva Marič, giugno 1901, item 112, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 174-175.
- [22.](#) Einstein a Jost Winteler, 8 luglio 1901, item 115, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, p. 179.
- [23.](#) Dipartimento degli Affari Interni a Einstein, 31 luglio 1901, item 120, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, p. 179.
- [24.](#) Einstein a Marcel Grossmann, settembre 1901, item 122, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 180-181.
- [25.](#) Einstein all'Ufficio Brevetti Svizzero, 18 dicembre 1901, item 129, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, p. 188.
- [26.](#) Einstein a Mileva Marič, 19 dicembre 1901, item 130, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 186-187.
- [27.](#) Einstein a Mileva Marič, 17 dicembre 1901, item 128, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 186-187.
- [28.](#) Einstein a Mileva Marič, 19 dicembre 1901, item 130, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 188-189. Traduzione modificata.
- [29.](#) Einstein a Mileva Marič, 28 dicembre 1901, item 131, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 189-190.
- [30.](#) Einstein a Mileva Marič, 4 aprile 1901, item 96, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 162-163.
- [31.](#) Einstein, annuncio per lezioni private, 5 febbraio 1902, item 135, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, p. 192.
- [32.](#) Einstein a Mileva Marič, febbraio 1902, item 136, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, pp. 192-193.
- [33.](#) Solovine, introduzione a Einstein (1993, p. 9).
- [34.](#) Vedi Holton (1973), cap. 7.
- [35.](#) Mach (1893, pp. 241-242).
- [36.](#) Einstein, "Ernst Mach", 1 aprile 1916, documento 29, in *Collected Papers*, vol. 6, p. 280.
- [37.](#) Pearson (1892, pp. 204, 226 e 227).
- [38.](#) Einstein (1983, pp. 8-9). Mill (1843).
- [39.](#) Einstein (1983, pp. 8-9); su Einstein e Mach, vedi Holton (1973), cap. 7. Altri lavori che, stando all'elenco fornito da Solovine, il gruppo discuteva erano quelli di Ampère (1834), Mill (1843) e Pearson (1892). Poincaré (1904).
- [40.](#) Poincaré (1904, pp. 286-289).
- [41.](#) Einstein a Schlick, 14 dicembre 1915, documento 165, in *Collected Papers*, vol. 8a, p. 221; *Collected Papers (Traduzione)*, p. 161.
- [42.](#) Nella maggior parte dei casi, i Lindemann hanno reso la "convention" di Poincaré con *Übereinkommen*; ma, per esempio, quando Poincaré argomenta contro il filosofo E. Le Roy in *La scienza e l'ipotesi* (p. XXIII) la traduzione è diversa. Poincaré scriveva: "Vi è chi è rimasto colpito dal carattere di libera convenzione [in francese: *de libre convention*] che viene riconosciuto ad alcuni principi fondamentali delle scienze". I Lindemann rendono la frase cruciale con "... *den Charakter freier konventioneller Festsetzungen...*" (Poincaré, *Wissenschaft und Hypothese*, 1904, p. XIII).
- [43.](#) Einstein a Solovine, 30 ottobre 1924, in Einstein (1993, p. 63). Si è portati a pensare (tra gli altri) a Max Planck, il primo fisico famoso a sostenere la relatività, che disdegnava ogni discorso sulla "comodità" in fisica e celebrava invece ciò che è universale e invariante. Vedi, per esempio, Heilbron (1996, pp. 48-52).
- [44.](#) Einstein, "Autobiographische Skizze", in Seelig (a cura di) (1956, p. 12). Einstein a Mileva Marič, febbraio 1902, item 137, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 1, p. 193. Il 2 giugno 1902 Einstein venne informato

ufficialmente che aveva ottenuto il lavoro all'Ufficio Brevetti con un salario annuo di 3.500 franchi svizzeri: item 140, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol.1. pp. 194-195 vedi anche item 141, 19 giugno 1902, p. 195; e che doveva prendere servizio il 1 luglio 1902: item 142, p. 196.

[45.](#) Per quanto riguarda le idee di Poincaré sulla dinamica e la cinematica, vedi Miller (1986), parti I e III; Paty (1993, pp. 264-276); e Darrigol (2000).

[46.](#) Non è questo il luogo per una completa ricostruzione tecnica di tutti gli aspetti del percorso che condusse Einstein alla relatività speciale. Il lettore può trovare una sintesi eccellente in Stachel et al., "Einstein on the Special Theory of Relativity", nota dei curatori in *Collected Papers*, vol. 2, pp. 253-274, in particolare pp. 264-265. Per gli sviluppi ulteriori vedi, per esempio, Miller (1981); Darrigol (2000) e Pais (1982).

[47.](#) Flückiger (1974, p. 58).

[48.](#) Einstein a Hans Wohlwend, 15 agosto-3 ottobre 1902, item 2, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, pp. 4-5.

[49.](#) Flückiger (1974, p. 58).

[50.](#) Flückiger (1974, p. 67). Einstein a Mileva Marič, settembre 1903, item 13, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, pp. 14-15.

[51.](#) Riferimenti citati in Pais (1982, pp. 47-48), che a sua volta cita Flückiger (1974).

[52.](#) Nicolas Stoicheff, brevetto 30.224 richiesto il 6 gennaio 1904, rilasciato nel 1904; American Electrical Novelty, "Stromschliessvorrichtung an elektrischen Pendelwerken", brevetto 31.055 richiesto il 16 marzo 1904 e rilasciato nel 1905.

[53.](#) Secondo la lista di brevetti che si trova in Berner (c. 1912), cap. 10.

[54.](#) Centinaia di brevetti pertinenti sono elencati nel *Journal Suisse d'horlogerie* durante gli anni cruciali (1902-1905). Sfortunatamente, l'Ufficio Brevetti svizzero distrusse diligentemente tutti i rapporti scritti da Einstein diciotto anni dopo la loro produzione; questa era una procedura standard per le opinioni sui brevetti, e neppure la fama di Einstein li portò a fare un'eccezione. Vedi Fölsing (1997, p. 104).

[55.](#) Il legame più preciso tra il lavoro di Einstein sui brevetti e la sua attività scientifica emerge nelle bussole giroscopiche e nell'effetto Einstein-de Haas, vedi Galison (1987), cap. 2; vedi inoltre Hughes (1993) e Pyenson (1985). Sull'incarico dato a Einstein di valutare i brevetti sull'elettricità, vedi Flückiger (1974, p. 62).

[56.](#) Flückiger (1974, p. 66).

[57.](#) J. Einstein & Co. und Sebastian Kornprobst, "Vorrichtung zur Umwandlung der ungleichmässigen Zeigerausschläge von Elektrizitäts-Messern in eine gleichmässige, gradlinige Bewegung", Kaiserliches Patentamt 53.546, 26 febbraio 1890; *idem*, "Neuerung an elektrischen Mess- und Anzeigervorrichtungen", Kaiserliches Patentamt 53.846, 21 novembre 1889; *idem*, "Federndes Reibrad", 60.361, 23 febbraio 1890; "Elektrizität-zähler der Firma J. Einstein & Cie., München (System Kornprobst)" (1891, p. 949). Vedi anche (in russo) Frenkel e Yavelov (1990, pp. 75ss), e Pyenson (1985, pp. 39-42). Ancora sui legami tra gli orologi elettrici e i dispositivi elettrici di misurazione, vedi, per esempio, Max Moeller, "Stromschlussvorrichtung an elektrischen Antriebsvorrichtungen für elektrische Uhren, Elektrizitätszähler und dergl". (Brevetto svizzero 24.342).

[58.](#) Ufficio brevetti svizzero a Einstein, 11 dicembre 1907, item 67 in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, p. 46. Sull'interesse di Einstein per le dinamo, vedi Miller (1986), cap. 3. Einstein insisteva sul fatto che assumeva il ruolo di testimone esperto solo se giudicava che la parte da lui difesa fosse nel giusto. Per esempio, nel 1928 difese Siemens & Halske contro Standard Telephones & Cables Ltd. - vedi Hughes (1993, p. 34).

[59.](#) Galison (1987), cap. 2.

[60.](#) Einstein a Heinrich Zangger, 29 luglio 1917, documento 365, in *Collected Papers*, vol. 8a, pp. 495-496.

[61.](#) Paul Habicht a Einstein, 19 febbraio 1908, articolo 86, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, pp. 58-61, in particolare p. 60.

[62.](#) Sulla "piccola macchina" vedi il saggio dei curatori in *Collected Papers*, vol. 5, pp. 51-54; Fölsing (1997, pp. 132, 241, 267-268); Frenkel e Yavelov (1990), cap. 4.

[63.](#) Einstein ad Albert Gockel, marzo 1909, item 144, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, p. 102.

[64.](#) Einstein a Conrad Habicht, 24 dicembre 1907, item 69, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, p. 47; Einstein a Jakob Laub, dopo il 1° novembre 1908, item 125, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, p. 90. "Al momento sto intrecciando una corrispondenza di estremo interesse con H.A. Lorentz sul problema della radiazione. Ammiro quest'uomo come nessun altro; potrei persino dire che lo amo." Einstein a Jakob Laub, 19 maggio 1909, item 161, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, pp. 120-122, a p. 121.

[65.](#) C. Vigreux e L. Brillié, "Pendute avec dispositif électro-magnétique pour le réglage de sa marche", brevetto 33.815.

[66.](#) Einstein (1982). Vedi le osservazioni che Einstein registrò su un disco. Nel 1924: "Dopo sette anni di

inutili riflessioni (1898-1905), la soluzione mi si presentò improvvisamente insieme al pensiero che i nostri concetti di spazio e tempo e le relative leggi possono pretendere una validità solo finché hanno una relazione chiara con le nostre esperienze; e queste stesse esperienze potrebbero anche condurre a leggi e concetti alternativi. Attraverso una revisione del concetto di simultaneità, che lo ha reso più malleabile, sono così giunto alla teoria speciale della relatività". Einstein, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 2, p. 264.

67. Joseph Sauter, "Comment j'ai appris à connaître Einstein", in Flückiger (1972, p. 156); Fölsing (1997, pp. 155-556).

68. Einstein a Habicht, maggio 1905, documento 27, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 5, pp. 19-20, in particolare p. 20.

69. Einstein (1906), in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 2, pp. 200-206, in particolare p. 200.

70. Cohn (1904).

71. Einstein (1907), documento 47, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 2, pp. 200-206, in particolare p. 200.

72. Abraham (1905, pp. 366-379); citato in Darrigol (2000, p. 382).

73. Warwick (1992, 1993).

74. Citato in Galison (1979, pp. 98, 112-113).

75. Galison (1979, p. 97).

76. Per un eccellente panorama dell'accoglienza data alle idee di Minkowski, vedi Walter (1999).

77. Citato in Galison (1979, p. 95).

78. Einstein, "The Principle of Relativity and Its Consequences in Modern Physics" [1910], documento 2, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 3, pp. 351-358, in particolare pp. 351-352.

79. Einstein, "The Theory of Relativity" [1911], documento 17, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 3, pp. 340-350, in particolare pp. 348, 350.

80. "Discussione" dopo la versione di "The Theory of Relativity" sotto forma di conferenza, documento 18, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 3, pp. 351-358 alle pp. 351-352.

81. "Discussione" dopo la versione di "The Theory of Relativity" sotto forma di conferenza, documento 18, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 3, pp. 351-358, in particolare pp. 356-358; vedi anche le note alla versione originale in *Collected Papers*, vol. 3, alle pp. 448-449. Poincaré (1905, p. 165).

82. Laue (1913, p. 34).

83. Planck (1998, p. 120); traduzione leggermente modificata sulla scia di Walter (1999, p. 106). Sulle parole di Planck e la carriera di Einstein, vedi Illy (1979, p. 76).

84. Einstein, "On the Principle of Relativity" [1914], documento 1, in *Collected Papers*, vol. 6, pp. 3-5, in particolare p. 4; *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 6, p. 4.

85. Cohn (1913, p. 10); Einstein, "On the Principle of Relativity" [1914], documento 1, in *Collected Papers*, vol. 6, p. 4.

86. Più precisamente, questo semplice triangolo mostra quantitativamente la relazione tra il tempo misurato nei due sistemi di riferimento. Sia Δt il tempo impiegato dalla luce per percorrere la distanza h (così $h = c\Delta t$). Possiamo immaginare che l'orologio a impulsi luminosi si muova verso destra alla velocità v , e che la traiettoria inclinata dell'impulso luminoso copra una distanza D nel tempo $\Delta t'$ (così $D = c\Delta t'$). Nel tempo $\Delta t'$ che il raggio di luce impiega per raggiungere lo specchio superiore, il punto di partenza del raggio si è spostato verso destra di una distanza b che deve essere uguale alla velocità dell'orologio moltiplicata per il tempo $\Delta t'$, cioè $b = v\Delta t'$. Otteniamo così un triangolo rettangolo (vedi figura 5.12b) in cui tutti i lati sono dati. Applicando il teorema di Pitagora: $D^2 = b^2 + h^2$. Sostituendo i valori di D , b e h , otteniamo: $(c\Delta t')^2 = (v\Delta t')^2 + (c\Delta t)^2$. Sottraendo $(v\Delta t')^2$ da entrambi i lati e semplificando, ricaviamo: $\Delta t' / \Delta t = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$.

Questo è il risultato cruciale. Dice che un battito dell'orologio in quiete che dura Δt nel suo sistema di riferimento (in cui la luce percorre una distanza h) impiega, in base alle misurazioni di un osservatore in quiete, un tempo maggiore ($\Delta t'$) quando l'orologio si muove alla velocità v . Poiché $v/c = 4/5$ della velocità della luce, il rapporto $1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ è uguale a $5/3$: un orologio che si muove a una velocità pari a $4/5$ di quella della luce, è più lento, rispetto a un orologio stazionario, di un fattore di $5/3$. Ovviamente, i concetti di "stazionario" e "in moto" sono, secondo Einstein, del tutto relativi.

87. Howeth (1963). Ancora sulla regolazione senza fili dell'ora, vedi, per esempio, Roussel (1922, in particolare pp. 150-152). Boulanger e Ferrié (1909) datano la stazione radio della Torre Eiffel al 1903. Ferrié (1911, in particolare p. 178), indica che la pianificazione di questo tipo di coordinazione del tempo risale agli albori della nuova tecnologia senza fili; Rothé (1913) discute i dettagli della procedura di coordinazione del tempo mediante comunicazioni radio.

- [88.](#)Max Reithoffer, Franz Morawetz, “Einrichtung zur Fernbetätigung von elektrischen Uhren mittels elektrischer Wellen”, brevetto svizzero 37.912, richiesto il 20 agosto 1906.
- [89.](#)Depelley, *Les Cables sous-marins* (1896, p. 20).
- [90.](#)Poincaré (1902b,p. 519).
- [91.](#)Amoudry, *Le Général Ferrié* (1896, p. 20).
- [92.](#)Conférence Internationale de l’heure, in *Annales du Bureau des Longitudes*, 9, D 17.
- [93.](#)*Commission Technique Interministérielle de Télégraphe sans Fil*, 8 marzo 1909, MS 1060, II F1, Archivi dell’Osservatorio di Parigi.
- [94.](#)Poincaré (1910b, pp. 173-174,177).
- [95.](#)(Approvazione) Ministre de l’Instruction Publique et de Beaux-Arts, à Monsieur le Directeur de l’Observatoire de Paris, 17 luglio 1909; (minute dell’incontro) *Commission Technique Interministérielle de Télégraphe sans Fil*, decimo incontro, 26 giugno 1909, entrambi i documenti MS 1060, II F1, Archivi dell’Osservatorio di Parigi.
- [96.](#)Poincaré (1909, p. 628). La copia del manoscritto è datata 24 luglio 1909 (*Archives de l’Académie des Sciences*).
- [97.](#)Poincaré (1909), martedì 3 agosto 1909.
- [98.](#)Amoudry (1993, p. 109); vedi *Comptes rendus de l’Académie des Sciences*, rapporto del 31 gennaio [1910].
- [99.](#)*Scientific American* 109, 13 dicembre 1913, p. 455; vedi anche Mathys (1991).
- [100.](#)Lallemand (1912); sullo scambio Torre Eiffel-Arlington, vedi, per esempio, Amoudry (1993, p. 117); Mathys (1991); e *Scientific American* 109, 13 dicembre 1913, p. 445.
- [101.](#)Howse (1980, p. 155).
- [102.](#)Vedi undicesimo e tredicesimo incontro della *Commission Technique Interministérielle de Télégraphe sans Fil*, 21 marzo 1911 e 21 novembre 1911, MS 1060, II F1, Archivi dell’Osservatorio di Parigi.
- [103.](#)Bloch (1922, pp. 15-16). Dominique Pestre descrive Bloch (e suo fratello) come fisici inusuali per l’epoca in Francia, poiché scrivevano libri che guardavano in modo positivo alla nuova fisica degli inizi del XX secolo, e che erano tipicamente prodotti usando una serie di generalizzazioni progressive dal concreto all’astratto (certamente per andare incontro al gusto dei loro colleghi più orientati verso gli esperimenti). Vedi Pestre (1984, pp. 18,56,117).
- [104.](#)Vedi *Bureau des Longitudes, Réception des signaux horaires: Renseignements météorologiques, scismologiques, etc, transmis par le postes de télégraphie sans fil de la Tour Eiffel*, Lyon, Bordeaux, ecc. (*Bureau des Longitudes*, Parigi, 1924, pp. 83-84.)
- [105.](#)Le correzioni sono di molti tipi e includono effetti dovuti al moto dei satelliti, ai campi gravitazionali più deboli che vi sono all’altezza dei satelliti, e al moto di rotazione della Terra. La componente relativistica dell’effetto Doppler è $v^2/2c^2$, che per la velocità dei satelliti ammonta a circa 7 milionesimi di secondo al giorno. Poiché la velocità della luce è molto superiore a quella dei satelliti, non c’è bisogno di tener conto della maggior parte della relatività generale, ma il principio di equivalenza che appartiene a questa teoria è significativo. (Il principio di equivalenza dice che non c’è modo di distinguere la fisica di una scatola in caduta libera da quella della stessa scatola che non è soggetta a un campo gravitazionale.) Un’analisi più rigorosa dovrebbe tener conto (tra le altre cose) del fatto che l’orbita dei satelliti non si trova sempre nello stesso campo gravitazionale, che l’osservatore sulla Terra potrebbe muoversi lungo la sua superficie, che il campo gravitazionale della Terra non è lo stesso in ogni punto della sua superficie, che il campo gravitazionale del Sole influenza l’orologio sulla Terra e quello sul satellite in modo diverso, e che la velocità apparente della luce è modificata dal campo gravitazionale terrestre.
- [106.](#)Neil Ashby, “General Relativity in the Global Positioning System”, www.phys.lsu.edu/mog/mog9/node9.html (accesso del 28 giugno 2002).
- [107.](#)Per la cronologia delle azioni degli attivisti, vedi www.plowshares.se/aktioner/plowcron5.htm (accesso 19 febbraio 2002); vedi anche *Los Angeles Times*, 12 maggio 1992, “Men Arrested in Space Satellite Hacking Called Peace Activists”, Metro parte B, 12.
- [108.](#)Taylor, “Propaganda by Deed” (n.d.), 5, in “Greenwich Park Bomb File”, archivi della *Cambridge University Press*. Serge F. Kovaleski, “1907 Conrad Novel May Have Inspired Unabomb Suspect”, *Washington Post*, 9 luglio 1996, A1.
- [109.](#)Ciò è stato messo in rilievo molte volte: Infeld (1950, p. 23); Holton (1973), Miller (1981 e 1982, pp. 3-26). Einstein fa riferimento alla “teoria di Lorentz” nel testo (ma in nessuna nota).
- [110.](#)Myers(1995,p.77).
- [111.](#)Per legge, agli ispettori dell’Ufficio brevetti veniva insegnato di ricercare l’originalità. In Svizzera, questa caccia alle novità aveva un significato particolare: “Le scoperte non sono da ritenersi nuove se, al momento

della loro registrazione in Svizzera, sono sufficientemente note perché il loro sviluppo da parte di esperti tecnici sia già possibile”. Vale la pena di notare il contrasto con i paesi vicini. In Francia, il rifiuto di un brevetto per mancanza di originalità era basato sulla “pubblicità” eventualmente data a lavori precedenti sullo stesso oggetto, mentre in Germania, un simile rifiuto poteva essere motivato dal fatto che l’invenzione era stata descritta in una pubblicazione ufficiale nel corso dell’ultimo secolo *oppure* il modo di usarla era già così noto che il suo impiego da parte di altri tecnici appariva possibile. Secondo i manuali sui brevetti dell’epoca, la legge svizzera era più vicina a quella francese; “originalità”, in Svizzera, significava che l’invenzione non era effettivamente nota in Svizzera, indipendentemente da quello che poteva giacere nascosto in qualche oscura pubblicazione straniera.

[112](#). Schanze (1903, p. 33).

[113](#). *Ibidem*, pp. 33-34.

[114](#). Einstein (1954, p. 10).

6. IL POSTO DEL TEMPO

[1](#). Einstein, “On the Relativity Principle and the Conclusions Drawn From It” [1907], documento 47, in *Collected Papers*, vol. 2, pp. 432-488; in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 2, pp. 252-255.

[2](#). Einstein citò il lavoro di Poincaré sull’inerzia dell’energia nella sua derivazione (1906) di $E = mc^2$ (“The Principle of Conservation of Motion of the Center of Gravity” [1906], documento 35, in *Collected Papers*, vol. 2, pp. 200-206; poi in “On the Inertia of Energy” [1907], documento 45, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 2, pp. 238-250). Ma negli scritti successivi sull’inerzia dell’energia Einstein ricominciò a omettere il nome di Poincaré.

[3](#). Poincaré (1909, p. 619). La copia del manoscritto è datata 24 luglio 1909 (*Archives de l’Académie des Sciences*).

[4](#). Faguet (1927, p. 41).

[5](#). Einstein, “On the Development of our Views Concerning the Nature and Constitution of Radiation”, documento 60, in *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 2, p. 379.

[6](#). “Discours du Duc M. de Broglie”, in Poincaré (1935, pp. 71-78, in particolare p. 76).

[7](#). Conclusioni generali di Poincaré in Langevin e de Broglie (1912, p. 451).

[8](#). Ho ritradotto questa citazione e ho anche corretto un’inserzione spuria che sembra essersi insinuata nella letteratura secondaria. La frase *gegen die Relativitätstheorie* semplicemente non compare nell’originale. Einstein a Heinrich Zangger, 15 novembre 1911, item 305, in *Collected Papers*, vol. 5, pp. 249-250.

[9](#). Poincaré a Weiss, i curatori degli scritti di Poincaré la datano novembre 1911 circa. *Poincaré et les Physiciens*, corrispondenza non pubblicata dall’*Archivio Henri Poincaré* di Zurigo.

[10](#). Darboux [1913, p. LXVII].

[11](#). Poincaré (1913b, p. 220).

[12](#). *Ibidem*, pp. 226-227.

[13](#). Poincaré (1913a, pp. 319-322, in particolare pp. 319, 322); sugli ultimi giorni di Poincaré, vedi Darboux (1916). Vedi l’eccellente discussione dell’impegno politico di Poincaré in Laurent Rollet (1999, pp. 283-284).

[14](#). “Discours du Prince Louis de Broglie” (1955, p. 66).

[15](#). Poincaré (1982, p. 352), traduzione leggermente modificata.

[16](#). *Ibidem*, p. 232.

[17](#). Sherman (1996).

[18](#). “Lettre de M. Pierre Boutroux à M. Mittag-Leffler” [18 giugno 1913], in Poincaré, *Oeuvres*, vol. 11 (1956), p. 150.

[19](#). Per entrambe le citazioni, vedi Einstein (1954, p. 274).

[20](#). Einstein sullo spirito religioso della scienza in *Mein Weltbild* [1934], ristampato in Einstein (1954, p. 40).

[21](#). Introduzione dei curatori al vol. 2, Einstein, *Collected Papers*, pp. XXV-XXVI.

[22](#). Einstein a Schlick, 21 maggio 1917, *Collected Papers (Traduzione)*, vol. 8, p. 333. Come è sostenuto in Holton (1973) l’enfasi di Einstein sulla metafisica cambiò nel tempo.

[23](#). Favarger (1924, p. 10).

[24](#). *Ibidem*, p. 11.

[25](#). Sono molto diffuse le interpretazioni della relatività di Einstein come il culmine di misurazioni sempre più

accurate che non fallivano nel rilevare la presenza dell'etere; forse il tentativo più erudito di classificare la formulazione di Einstein come una mera variante delle prime teorie sull'etere e gli elettroni è quella in Whittaker (1987, p. 40), in cui il capitolo "La teoria della relatività di Poincaré e Lorentz" include la seguente osservazione: "Einstein pubblicò un articolo [nel 1905] che proponeva la teoria della relatività di Lorentz e di Poincaré con alcune amplificazioni, e attrasse molta attenzione. Egli asserì come principio fondamentale la costanza della velocità della luce [...] principio che all'epoca era largamente accettato, ma è stato criticato severamente da autori successivi". Vedi Holton (1973), in particolare cap. 5 e Miller (1981).

[26](#). Schaffer (1992, pp. 23-49); Wise (1988); Galison (1997).

[27](#). Einstein a Solovine, Princeton, 3 aprile 1953, in Einstein (1987, p. 143), traduzione modificata.

[28](#). Einstein al figlio e alla sorella di Michele Besso, 21 marzo 1955, in Einstein (1995, p. 459).

BIBLIOGRAFIA

- ABRAHAM, MAX (1905), *Theorie der Elektrizität: Elektromagnetische Theorie der Strahlung*, vol. 2. Teubner, Leipzig.
- ALDER, KEN (2002), *La misura di tutte le cose. L'avventurosa storia dell'invenzione del sistema metrico decimale*. Tr. it. Rizzoli, Milano 2002.
- ALLEN, JOHN S. (1951), *Standard Time in America. Why and How it Came about and the Part Taken by the Railroads and William Frederick Allen*. National Railway Publication Company, New York.
- ALLEN, WILLIAM E (1883), *Report on the Subject of National Standard Time Made to the General and Southern Railway. Time Conventions*. National Railway Publication Company, New York.
- ALLEN, WILLIAM F. (1884), *History of the Adoption of Standard Time Read before the American Metrological Society on December 27th 1883, with Other Papers Relating Thereto*. American Metrological Society, New York.
- AMBRONN, FRIEDRICH A.L. (1889), *Handbuch der astronomischen instrumentenkunde. Eine Beschreibung der bei astronomischen Beobachtungen benutzten instrumente sowie Erläuterung der ihrem Bau, ihrer Anwendung und Aufstellung zu Grunde liegenden Principien*, vol. 1. Springer, Berlin.
- AMOUDRY, MICHEL (1993), *Le général Ferrié. La naissance des transmissions et de la radiodiffusion*. Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble.
- AMPÈRE, ANDRÉ-MARIE (1834), *Saggio sulla filosofia delle scienze*. Tr. it. (parziale) in *Opere*. UTET, Torino 1969.
- ANDERSSON, K.G. (1994), "Poincaré's Discovery of Homoclinic Points". In *Archive for History of Exact Sciences*, 48, pp. 133-147.
- ANDERTON, KEITH (1993), *The Limit of Science. A Social, Political and Moral Agenda far Epistemology*, dissertazione di dottorato inedita, Harvard University.
- ANDRADE, JULES (1898), *Leçons de mécanique physique*. Société d'éditions scientifiques, Paris.
- AUBIN, DAVID (2003), "The fading star of the Paris Observatory in the nineteenth century: Astronomers' Urban Culture of Circulation and Observation". In *Science and the City*, Osiris, 18, pp. 79-100.
- BACZKO, BRONISLAW (1992), "Le Calendrier républicain". In *Les lieux de mémoire*, vol. 1, Gallimard, Paris.
- BARKAN, DIANA KORMOS (1993), "The First Solvay. The Witches' Sabbath: The First International Solvay Congress of Physics". In *Einstein in Context*, 6, pp. 59-82.
- BARKAN, DIANA KORMOS (1999), *Walther Nernst and the Transition to Modern Science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- BARNARD, F.A.P. (1882), "A uniform system of Time reckoning". In *The Association for the Reform and Codification of the Law of Nations. The Committee on Standard Time. Views of the American Members of the Committee, as to the Resolutions Proposed at Cologne Recommending a Uniform System of Time Regulation for the World*. Moggowan & Slipper, New York, pp. 3-4.
- BARNARD, F.A.P. (1884), "The metrology of the Great Pyramid". In *Proceedings of the American Metrological Society*, 4, pp. 117-219.
- BARROW-GREEN, JUNE (1997), "Poincaré and the Three Body Problem". In *History of Mathematics*, 11, American Mathematical Society, Providence.
- BARTHES, ROLAND (1972), *Miti d'oggi*. Tr. it. Einaudi, Torino 1974.
- BARTKY, IAN R. (1983), "The invention of Railroad Time". In *Rail-road History Bulletin*, 148, pp. 13-22.
- BARTKY, IAN R. (1989), "The adoption of Standard Time". In *Technology and Culture*, 30 (1), pp. 25-57.

- BARTKY, IAN R. (2000), *Selling the True Time. Nineteenth-Century Timekeeping in America*. Stanford University Press, Stanford.
- BENNETT, JIM (2002), "The travels and trials of Mr. Harrison's Ti-mekeeper". In BOURGUET, MARIE-NOËLLE, LICOPPE, CHRISTIAN, SIBUM, H. OTTO (a cura di), *Instruments, Travel, and Science*. Routledge, New York.
- BERGSON, HENRI (1889), *Saggio sui dati immediati della coscienza*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2002.
- BERNARDIERES, O. DE (1884), "Déterminations télégraphiques de différences de longitude dans l'Amérique du Sud". In *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 98, pp. 882-890.
- BERNER, ALBERT (1912ca), *Initiation de l'horloger à l'électricité et à ses applications*, La Chaux-de-Fonds, Switzerland.
- BERNSTEIN, A. (1897), *Naturwissenschaftliche Volksbücher*. Dummlers Verlagsbuchhandlung, Berlin.
- BLAISE, CLARK (2000), *Il signore del tempo*. Tr. it. Bompiani, Milano 2001.
- BLOCH, LÉON (1922), *Principe de la relativité et la théorie d'Einstein*. Gauthier-Villars et Fils, Paris.
- BOND, W.C. (1856), "Report to the Director" [4 December 1850]. In *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*, 1, pp. CXL-CL.
- BOULANGER, JULIEN A., FERRIÉ, G.A. (1909), *La télégraphie sans fil et les ondes électriques*. Berger-Levrault et Fils, Paris.
- BREGUET, ANTOINE (1880-1881), "L'unification de l'heure dans les grandes villes". In *Le Génie civil. Revue générale des industries Françaises et étrangères*, 1, pp. 9-11.
- BROGLIE, LOUIS-VICTOR DE (1955), "Discours du Prince de Broglie". In *Le livre du centenaire*. Gauthier-Villars et Fils, Paris, pp. 62-71.
- BROGLIE, MAURICE DE (1955), "Discours du Duc Maurice de Broglie. Henri Poincaré et la Philosophie". In *Le Livre du centenaire*. Gauthier-Villars et Fils, Paris, pp. 71-78.
- BUCHOLZ, ARDEN (1991), *Moltke, Schlieffen, and Prussian War Planning*, Berg, New York-Oxford.
- BUCHOLZ, ARDEN (2001), *Moltke and the German Wars, 1864-1871*. Palgrave, New York.
- BURNETT, D. GRAHAM (2000), *Masters of All They Surveyed*. The University of Chicago Press, Chicago.
- BURPEE, LAWRENCE J., FLEMING, SANDFORD (1915), *Empire Builder*. Oxford University Press, Oxford.
- CAHAN, DAVID (1989), *An Institute for an Empire. The Physikalisch-Technische Reichsanstalt 1871-1918*. Cambridge University Press, Cambridge.
- CALAPRICE, ALICE (1996) (a cura di), *The Quotable Einstein*. Princeton University Press, Princeton.
- CALINON, A. (1885), "Étude critique sur la mécanique". In *Bulletin de la Société de Sciences de Nancy*, 7, pp. 76-180.
- CALINON, A. (1897), *Étude sur les diverses grandeurs en mathématiques*. Gauthier-Villars et Fils, Paris.
- CANALES, JIMENA (2001), "Exit the Frog: physiology and experimental psychology in nineteenth-century astronomy". In *British Journal for the History of Science*, 34, pp. 173-197.
- CANALES, JIMENA (2002), "Photogenic Venus. The 'Cinematographic Turn' and its alternatives in nineteenth-century France". In *Isis*, 93, pp. 585-613.
- CANTOR, G.N., HODGE, M.J.S. (1981) (a cura di), *Conceptions of Ether. Studies in the History of Ether Theories 1740-1900*. Cambridge University Press, Cambridge.
- CASSIDY, DAVID (1992), *Un'estrema solitudine. La vita e l'opera di Werner Heisenberg*. Tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 1996.
- CASSIDY, DAVID (2001), "Understanding the history of Special Relativity". In GALISON, P. GORDON, M. KAISER, D. (a cura di), *Science and Society: The History of Modern Physical Science in the Twentieth Century, vol. 1: Making Special Relativity*. Routledge, New York, pp.

- CHAPUIS, ALFRED (1920), *Histoire de la Pendulerie Neuchâteloise (Horlogerie de Gros et de Moyen Volume). Avec la collaboration de Léon Montandon, Marius Fallet, et Alfred Buhler (préface de Paul Robert)*. Attinger, Paris-Neuchâtel.
- CHRISTIE, K.C.B. (1906), *Telegraphic Determinations of Longitude (Royal Observatory Greenwich). Made in the Years 1888 to 1902*. Neill & Co., Edinburgh.
- COHN, EMIL (1904), "Zur Elektrodynamik bewegter Systeme". In *Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe der Akademie der Wissenschaften*, vol. 10, pp. 1294-1303, 1404-1416.
- COHN, EMIL (1913), *Physikalisches über Raum und Zeit*, Teubner, Leipzig-Berlin.
- Comptes rendus des séances de la Douzième conférence générale de l'association géodésique internationale. Réunie à Stuttgart du 3 au 12 Octobre 1898*. Attinger, Neuchâtel, 1899.
- Comptes rendus de l'association géodésique internationale, 25 Septembre-6 Octobre 1900 [4 Octobre 1900]*. Attinger, Neuchâtel, 1901.
- Conférence générale des poids et mesures. Rapport sur la construction, les comparaisons et les autres opérations ayant servi à déterminer les équations des nouveaux prototypes métriques, Présenté par le Comité international des Poids et Mesures*. Gauthier-Villars et Fils, Paris, 1889.
- "Conférence Internationale de l'heure". In *Annales du Bureau des Longitudes*, 9, p. D17.
- CONRAD, JOSEPH (1953), *L'agente segreto*. Tr. it. Bompiani, Milano 1953.
- CORNU, M.A. (1894), "La synchronisation électromagnétique (Conférence faite devant la Société internationale des Électriciens le 24 janvier 1894, Paris)". In *Bullettin de la Société internationale des Électriciens*, 11, pp. 157-220.
- CORNU, M.A. (1897), "La Décimalisation de l'heure et de la circonférence". In *L'Eclairage Electrique*, 11, pp. 385-390.
- CREET, MARIO (1990), "Sandford Fleming and Universal Time". In *Scientia Canadensis*, 14, pp. 66-90.
- DARBOUX, GASTON (1916), "Éloge historique d'Henri Poincaré". In POINCARÉ, HENRI, *Oeuvres*, vol. 2, pp. VII-LXXI.
- DARRIGOL, OLIVER (2000), *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford University Press, Oxford.
- DASTON, LORRAIN J. (1986), "The Physicalist Tradition in early nineteenth century french geometry". In *Studies in History and Philosophy of Science*, 17, pp. 296-295.
- DAVIS, C.H. NORRIS, J.A. LAIRD, C. (1885), *Telegraphic Determination of Longitudes in Mexico and Central America and on the West Coast of South America*. U.S. Government Printing Office, Washington.
- DÉBARBAT, SUZANNE (1996), "An unusual use of an astronomical instrument: the Dreyfus Affair and the Paris 'Macro-Micromètre'". In *Journal for the History of Astronomy*, 27, pp. 45-52.
- DEPELLEY, M.J. (1896), *Les cables sous-marins et la défense de nos colonies*. Léon Chailley, Paris.
- DIACU, FLORIN, HONORES, PHILIP (1996), *Celestial Encounters. The Origins of Chaos and Stability*. Princeton University Press, Princeton.
- Documents de la Conférence Télégraphique Internationale de Paris (May-June 1890), Bureau International des administrations Télégraphiques*. Imprimerie Rieder & Simmer, Berne, 1891.
- Documents diplomatiques de la conférence du mètre*. Imprimerie nationale, Paris, 1875.
- DOHRN-VAN ROSSUM, GERHARD (1996), *History of the Hour. Clocks and Modern Temporal Orders*. Tr. ingl. University of Chicago Press, Chicago.
- DOWD, CHARLES F. (1930), *A Narrative of His Services in Originating and Promoting the System of Standard Time Which Has Been Used in the United States of America and in Canada since 1883*, Knickerbocker Press, New York.
- EINSTEIN, ALBERT (1895), "On the investigation of the state of the ether in a magnetic field". In *Collected Papers* vol. 1 (1987), pp. 6-9.
- EINSTEIN, ALBERT (1905), *L'elettrodinamica dei corpi in movimento*. Tr. it. in *Opere scelte*. Bollati Boringhieri, Torino 1998, pp. 148-177.
- EINSTEIN, ALBERT (1949), *Autobiografia scientifica*. Tr. it. in *Opere scelte*. Bollati Boringhieri,

- Torino 1998, pp. 61-106.
- EINSTEIN, ALBERT (1954), *Idee e opinioni*. Tr. it. Schwarz, Milano 1957.
- EINSTEIN, ALBERT (1960), *Einstein on Peace*. Avenel Books, New York.
- EINSTEIN, ALBERT (1982), "How I created the Theory of Relativity. Translation of a lecture Einstein gave in Japan in 1922". In *Physics Today*, 35, pp. 45-47; poi in *Collected Papers* (in corso di pubblicazione).
- EINSTEIN, ALBERT (1987), *The Collected Papers of Albert Einstein*. Princeton University Press, Princeton.
- EINSTEIN, ALBERT (1993), *Letters to Solovine*. Carol Publishing Group, New York. Tr. it. (parziale) in *Opere scelte*, cit., pp. 731-744.
- EINSTEIN, ALBERT, BESSO, MICHELE (1972), *Corrispondenza con Michele Besso*. Tr. it. Guida, Napoli 1995.
- EKELAND, IVAR (1988), *Mathematics and the Unexpected*. The University of Chicago Press, Chicago.
- FAGUET, E. PAINLEVE, R. PERRIER, E. POINCARÉ, J.-H. (1927), *Après l'École. Ce que disent les livres. Ce que disent les choses*. Hachette, Paris.
- FAVARGER, M.A. (1884), "L'électricité et ses applications à la chronométrie". In *Journal Suisse d'Horlogerie. Revue Horlogère Universelle*, 6, pp. 153-158.
- FAVARGER, M.A. (1902), "Sur la distribution de l'heure civile". In *Comptes rendus des travaux, procès-verbaux, rapports et mémoires*, Gauthier-Villars et Fils, Paris, pp. 198-203.
- FAVARGER, M.A. (1920), "Les horloges électriques". In ALFRED, CHAPUIS (a cura di), *Histoire de la Pendulerie Neuchâteloise*. Attinger, Paris, pp. 399-420.
- FAVARGER, M.A. (1924), *L'Électricité et ses applications à la chronométrie*. Edition du Journal Suisse d'horlogerie et de Bijouterie, Neuchâtel.
- FERRIÉ, A.G. (1911), "Sur quelques nouvelles applications de la télégraphie sans fil". In *Journal de Physique*, 5, pp. 178-189.
- FLEMING, SANDFORD (1876), *Terrestrial Time, A Memoir*. Edwin S. Boot, London (Reprinted by the Canadian Institute for Historical Microreproductions, 1980).
- FLEMING, SANDFORD (1879), "Longitude and Time-Reckoning". In *Papers on Time-Reckoning. From the Proceedings of the Canadian Institute, Toronto, vol. 1 (4)*, pp. 52-63.
- FLEMING, SANDFORD (1891), "General von Moltke on Time Reform". In *Documents Relating to the Fixing of a Standard of Time and the Legalization Thereof*. Printed by The Order of Canadian Parliament, Session 1891 (8). Brown Chamberlin, Ottawa, pp. 25-27.
- FLÜCKIGER, MAX (1974), *Albert Einstein in Bern. Das Ringen um ein neues Weltbild. Eine dokumentarische Darstellung über den Aufstieg eines Genies*. Paul Haupt, Bern.
- FÖLSING, ALBRECHT (1997), *Albert Einstein. A Biography*. Tr. ingl. Penguin Books, New York.
- FRENCH, ANTONY PHILIP (1968), *Special Relativity*. MIT Press, Cambridge.
- FRENKEL W.J., YAVELOV B.E. (1990), *Einstein: Invention and Experiment* (in russo). Nauka, Mosca.
- FURET, FRANÇOIS, OZOUF, MONA (1988), *Dizionario critico della Rivoluzione francese*. Tr. it. Bompiani, Milano.
- GALISON, PETER (1979), "Minkowski's Space-Time: from Visual Thinking to the Absolute World". In *Historical Studies in the Physical Sciences*, 10, pp. 85-121.
- GALISON, PETER (1987), *How Experiments End*. The University of Chicago Press, Chicago.
- GALISON, PETER (1997), *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. The University of Chicago Press, Chicago.
- GALISON, PETER, GORDIN, MICHAEL, KAISER, DAVID (2001) (a cura di), *Science and Society: the History of Modern Physical Science in the Twentieth Century, Volume 1: Making Special Relativity*. Routledge, New York.
- GIEDYMIN, JERZY (1982), *Science and Convention. Essays on Henri Poincaré's Philosophy of Science and the Conventionalist Tradition*. Pergamon Press, Oxford.
- GILAIN, CHRISTIAN (1991), "La théorie qualitative de Poincaré et le problème de l'intégration des

- équations différentielles". In GISPERT, HELENE (a cura di), *La France Mathématique (Cahiers d'histoire et de philosophie de sciences, 34)*. Centre de documentation sciences humaines, Paris, pp. 215-242.
- GRAY, JEREMY (1997), "Poincaré, Topological Dynamics, and the Stability of the Solar System". In HARMAN, P.M. SHAPIRO, ALAN E. (a cura di), *The Investigation of Difficult Things*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 503-524.
- GRAY, JEREMY (1997), "Poincaré in the Archives - Two Examples". In *Philosophia Scientiae*, 2, pp. 27-39.
- GRAY, JEREMY (1999) (a cura di), *The Symbolic Universe*. Oxford University Press, Oxford.
- GREEN, FRANCIS M. (1877), *Report on the Telegraphic Determination of Differences of Longitude in the West Indies and Central America*. U.S. Government Printing Office, Washington.
- GREEN, F.M. DAVIS, C.H. NORRIS, J.A. (1880), *Telegraphic Determination of Longitudes of the East Coast of South America*. U.S. Government Printing Office, Washington.
- GRUNBAUM, ADOLF (1968), "Il problema dei fondamenti della geometria in Carnap". Tr. it. in SCHILPP, ARTHUR P. (1974) (cura di), *La filosofia di Rudolf Carnap*, 2 voll, il Saggiatore, Milano, vol. II, pp. 583-658.
- GRÜNBAUM, ADOLF (1968), *Geometry and Chronometry*. In *Philosophical Perspective*, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- GUILLAME C.L.(1890) "Travaux du Bureau International des Poids et Mesures". In *La Nature*, 1, pp. 19-22.
- HARMAN, P.M. SHAPIRO, ALAN F. (1992), *The Investigation of Difficult Things. Essays on Newton and the History of the Exact Sciences in Honour of D. T. Whiteside*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HAYLES, KATHERINE N. (1991) (a cura di), *Chaos and Order. Complex Dynamics in Literature and Science*. The University of Chicago Press, Chicago.
- HEADRICK, DANIEL R. (1988), *I tentacoli del progresso. Il trasferimento tecnologico nell'età dell'imperialismo (1830-1940)*. Tr. it. il Mulino, Bologna 1991.
- HEILBRON, JOHN L. (1988), *I dilemmi di Max Planck. Portavoce della scienza tedesca*. Tr. it. Bollati Boringhieri, Torino.
- HEINZMANN, GERHARD (2001), "The Foundations of Geometry and the Concept of Motion: Helmholtz and Poincaré". In *Science in Context*, 14, pp. 457-470.
- "Historical Account of the Astronomical Observatory of Harvard College, from October 1855 to October 1876". In *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard*, 8 (1877), pp. 10-65.
- HEISENBERG, WERNER (1971), *fisica e oltre: incontri con i protagonisti 1920-1965*. Tr. it. Bollati Boringhieri, Torino 2002.
- HOLTON, GERALD (1973), *L'immaginazione scientifica. I temi del pensiero scientifico*. Tr. it. Einaudi, Torino 1983.
- HOWARD, MICHAEL (1961), *The Franco-Prussian War. The German Invasion of France, 1870-1871*. Routledge, London, New York.
- HOWETH, L.S. (1963), *History of Communications-Electronics in the United States Navy*. U.S. Government Printing Office, Washington.
- HOWSE, DEREK (1980), *Greenwich Time and the Discovery of the Longitude*. Oxford University Press, Oxford.
- HUGHES, THOMAS (1993), "Einstein, inventors, and invention". In *Science in Context*, 6, pp. 25-42.
- ILLY, J. (1979), "Albert Einstein in Prague". In *Isis*, 70, pp. 76-84.
- INFELD, LEOPOLD (1950), *Albert Einstein. His Work and Its Influence on our World*. Charles Scribner's Sons, New York (edizione riveduta).
- International Conference Held at Washington. For the Purpose of Fixing a Prime Meridian and a Universal Day*. Gibson Bros., Washington, 1884.
- JANSSEN, M.J. (1885), "Sur le congrès de Washington et sur les propositions qui y ont été adoptées touchant le premier Méridien, l'heure universelle et l'extension du système decimal à la mesure

- des angles et à celle du temps". In *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 100, pp. 706-729.
- JANNSEN, M. (1995), *A Comparison between Lorentz's Ether Theory and Special Relativity in the Tight of the Experiments of Trouton and Noble*, dissertazione di dottorato inedita, University of Pittsburgh.
- JONES, Z. BOYD, L.G. (1971), *The Harvard College Observatory: The First Four Directorships 1839-1919*. Belknap Press, Cambridge.
- KAHLERT, HELMUT (1989), *Matthäus Hipp in Reutlingen. Entwicklungsjahre eines großen Erfinders (1813-1893)*. Sonderdruck aus: *Zeitschrift für Württembergische Landesgeschichte* 48. Hg. von der Kommission für geschichtliche Landeskunde in Baden-Württemberg und dem Württembergischen Geschichts- und Altertumsverein. Kohlhammer, Stuttgart.
- KAISER, DAVID (2000), *Making Theory: Producing Physics and Physicist in Post-war America*, dissertazione di dottorato inedita, Harvard University.
- KERN, STEPHEN (1983), *The Culture of Time and Space 1880-1918*. Harvard University Press, Cambridge.
- KROPOTKIN, PETR (1899), *Memorie di un rivoluzionario*. Tr. it. Feltrinelli, Milano 1976.
- LA GRYE, BOUQUET DE, PUJAZON, C. (1897), "Différences de Longitudes entre San Fernando, Santa Cruz de Tenerife, Saint-Louis et Dakar". In *Annales du Bureau des Longitudes*, 18.
- LA PORTE, E (1887), "Détermination de la longitude d'Haiphong (Tonkin) par le télégraphe" [29 Août 1887]. In *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 105, pp. 404-406.
- LALLEMAND, CHARLES (1897), *L'unification internationale des heures et le système des fuseaux horaires*. Bureaux de la Revue Scientifique, Paris.
- LALLEMAND, CHARLES (1912), "Projet d'organisation d'un service international de l'heure". In *Annales du Bureau des Longitudes*, 9, pp. D261-D268.
- LANDES, DAVID S. (1983), *Revolution in Time. Clocks and the Making of the Modern World*. Belknap Press (Harvard University Press), London-Cambridge.
- LAUE, MAX VON (1913), *Das Relativitätsprinzip*. Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- Le Livre du centenaire de la naissance de Henri Poincaré 1854-1954*. Gauthier-Villars et Fils, Paris 1955.
- LOEWY, M. LE CLERC, F, BERNARDIERES, OCTAVE DE (1882), "Détermination des différences de longitude entre Paris-Berlin et entre Paris-Bonn". In *Annales du Bureau des Longitudes*, 2.
- LORENTZ, HENDRIK ANTOON (1904), "Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light ". In *Proceedings of the Royal Academy of Amsterdam*, 6, pp. 809-832.
- LORENTZ, HENDRIK ANTOON (1937), "Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern" [1895]. In LORENTZ, HENDRIK ANTOON, *Collected Papers*, vol. 5. Martinus Nijhoff, The Hague, pp. 1-139.
- MACH, ERNST (1883), *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*. Tr. it. Boringhieri, Torino 1977.
- MERLE, U. (1989), "Tempo! Tempo! Die Industrialisierung der Zeit im 19. Jahrhundert". In JENZEN, IGOR A. (a cura di), *Uhrzeiten. Die Geschichte der Uhr und ihres Gebrauches*. Jonas Verlag, Marburg.
- MESSERLI, JAKOB (1995), *Gleichmässig, pünktlich, schnell. Zeiteinteilung und Zeitgebrauch in der Schweiz im 19. Jahrhundert*. Chronos Verlag, Zürich.
- MESTRAL, AYMANT DE (1960), *Mathius Hipp 1813-1893, Jean-Jacques Kohler 1860-1930, Eugene Faillietaz 1873-1943, Jean Landry 1875-1940*. Boillat, Zürich.
- MILL, JOHN S. (1843), *Sistema di logica deduttiva e induttiva*. Tr. it. 2 voll., UTET, Torino 1988.
- MILLER, ARTHUR I. (1981), *Albert Einstein's Special Theory of Relativity. Emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911)*. Addison-Wesley Publishing Company, London.
- MILLER, ARTHUR I. (1982), "The Special Relativity Theory: Einstein's Response to the Physics of 1905". In HOLTON, GERALD, ELKANA, YEHUDA (a cura di), *Albert Einstein. Historical and Cultural Perspectives*. Princeton University Press, Princeton, pp. 3-26.

- MILLER, ARTHUR I. (1986), *Frontiers of Physics: 1900-1911. Selected Essays*. Birkhäuser, Basel.
- MILLER, ARTHUR I. (2001), *Einstein, Picasso. Space, Time, and the Beauty That Causes Havoc*. Basic Books, New York.
- MOLTKE, HELMUTH GRAF VON (1892), "Dritte Berathung des Reich-shaushaltsetats: Reichseisenbahnamt, Einheitszeit". In *Gesammelte Schriften und Denkwürdigkeiten des General-Feldmarschalls Grafen Helmuth von Moltke*, vol. VII: *Reden*. Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Berlin, pp. 38-43.
- MOLTKE, HELMUTH GRAF VON (1891-1893), *Gesammelte Schriften und Denkwürdigkeiten des General-Feldmarschalls Grafen Helmuth von Moltke*, 8 voll. Ernst Siegfried Mittler und Sohn, Berlin.
- MYERS, GREG (1995), "From Discovery to Invention: The Writing and Rewriting of Two Patents". In *Social Studies of Science*, 25, pp. 57-105.
- NEWTON, ISAAC (1687), *Principi matematici della filosofia naturale*. Tr.it. UTET, Torino 1965.
- NEWTON, ISAAC (1952), *Newton's Philosophy of Nature. Selections from His Writings*. Hafner, New York.
- NORDLING, M.W.D. (1888), "L'unification des heures". In *Revue générale des chemins de fer*, pp. 193-211. "Le Nouvel étalon du mètre". In *Le Magasin Pittoresque*, 1876, pp.318-322.
- NYE, MARY JO. (1979), "The Brouwer Circle and Poincaré's Conventionalism". In *Journal of the History of Ideas*, 40, pp. 107-120.
- OLESKO, KATHRYN (1991), *Physics as a Calling: Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics*. Cornell University Press, Ithaca.
- OZOUF, MONA (1992), "Calendrier". In FURET, FRANÇOIS, OZOUF, MONA (a cura di), *Dictionnaire critique*. Flammarion, Paris, pp.91-105.
- PAIS, ABRAHAM (1982), "Sottile è il Signore. .." *La scienza e la vita di Albert Einstein*. Tr. it. Boringhieri, Torino 1986.
- PATY, MICHEL (1993), *Einstein Philosophe*. Presses Universitaire de France, Paris.
- PEARSON, KARL (1892), *The Grammar of Science*. Thoemmes Antiquarian Books, Bristol, nuova ristampa, 1991.
- PESTRE, DOMINIQUE (1992), *Physique et physiciens en France 1918-1940*. Gordon and Breach Science Publishers S.A., Paris.
- PICKERING, EDWARD (1877), *Annual Report of the Director of Harvard College Observatory*. John Wilson & Son, Cambridge.
- PICON, ANTOINE (1994), *La Formation polytechnicienne 1794-1994*. Dunod, Paris.
- PLANCK, MAX (1998), *Eight Lectures on Theoretical Physics*. Dover Publications, Mineola.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1881), "Mémoire sur les courbes définies par une équation différentielle (première partie)". In *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, Ser. 3,7, pp. 375-422.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1885), "Sur les courbes définies par les équations différentielles". In *Oeuvres*, vol.I (1928), pp. 9-161.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1887), "Sur les hypothèses fondamentales de la géométrie". In *Oeuvres*, vol. 11 (1956), pp. 79-91.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1890), "Sur le problème des trois corps". In *Oeuvres*, vol. 7 (1952), pp. 262-490.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1892-1899), *Les méthodes nouvelles de la Mécanique céleste*. 3 tomi, Gauthier-Villars, Paris.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1894), *Les oscillations électriques. Leçons professées pendant le premier trimestre 1892-1893*. Georges Carré, Paris.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1897), "La décimalisation de l'heure et de la circonférence". In *Oeuvres*, vol. 8 (1952), pp. 676-679.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1897), "Rapport sur les résolutions de la commission chargée de l'étude des projets de décimalisation du temps et de la circonférence". In *Commission de décimalisation du temps et de la circonférence*, pp. 1-12.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1898a), "La logique et l'intuition dans la science mathématique et dans l'enseignement". In *Oeuvres*, vol.11 (1956), pp. 129-133.

- POINCARÉ, JULES-HENRI (1898b), "La misura del tempo". Tr. it. in *Il valore della scienza*, La Nuova Italia, Firenze 1994, pp. 27-41.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1900a), "Rapport sur le projet de révision de l'arc meridien de Quito" [25 juillet 1900]. In *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, CXXXI, pp. 215-236. Ulteriori rapporti presentati da Poincaré sulla spedizione di Quito seguono nello stesso periodico a cadenza annuale fino a tutto il 1907.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1900b), "La dynamique de l'électron". In *Oeuvres*, vol. 9 (1954), pp. 551-586.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1900c), "La teoria di Lorentz e il principio di reazione". Tr. it. in *Scritti di fisica e matematica di Jules-Henri Poincaré*. UTET, Torino 1993, pp. 415-443.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1901), *Électricité et optique. La lumière et les théories électrodynamiques*. Jacques Gabay, Paris 1990.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1902a), *La scienza e l'ipotesi*. Tr. it. Bompiani, Milano 2003.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1902b), "Notizia sulla telegrafia senza filo". Tr. it. in *Scritti di fisica e matematica di Jules-Henri Poincaré*. UTET, Torino 1993, pp. 505-524.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1903), "Le Banquet du 11 Mai". In *Bulletin de l'Association*, L'Université de Paris, Paris, pp. 57-64.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1904a), "Étude de la Propagation du courant en période variable sur une ligne munie de récepteur". In *Oeuvres*, vol. 10 (1954), pp. 445-486.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1904b), "L'Etat actuel et l'avenir de la physique mathématique". In *Bulletin des Sciences Mathématiques*, 28, pp. 302-324 (ripreso in *Il valore della scienza*, tr. it. La Nuova Italia, Firenze, 1994, pp. 123-152).
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1904c), *Wissenschaft und Hypothese*. Deutsche Ausgabe mit erläuternden Anmerkungen von F. und L. Lindemann. Teubner, Stuttgart.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1905), *Il valore della scienza*. Tr. it. La Nuova Italia, Firenze 1994.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1906), "Sulla dinamica dell'elettrone". Tr. it. in *Scritti di fisica e matematica di Jules-Henri Poincaré*. UTET, Torino 1993, pp. 543-617.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1908), "L'invenzione matematica". Tr. it. in *Scienza e metodo*. Einaudi, Torino 1997, pp. 37-52.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1909), "La nuova meccanica". Tr. it. in *Scritti di fisica e matematica di Jules-Henri Poincaré*. UTET, Torino 1993, pp. 619-636.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1910a), "Cornu". In *Savants et Écrivains*, pp. 103-124.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1910b), "La nuova meccanica". Tr. it. in *Geometria e caso. Scritti di matematica e fisica*. Bollati Boringhieri, Torino 1995, pp. 173-182.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1910c), "Les Polytechniciens". In *Savants et Écrivains*, pp. 265-279.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1910d), *Savants et Écrivains*. Flammarion, Paris.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1912), "Général Conclusions". In LANGEVIN, P., DE BROGLIE, M. (a cura di), *La théorie du rayonnement et les quanta. Rapports et discussions de la réunion tenue à Bruxelles, du 30 octobre au 3 novembre 1911*. Gauthier-Villars et Fils, Paris, pp. 451-454.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1913a), "L'unione morale". Tr. it. in *Pensieri ultimi*, in *Opere epistemologiche*, 2 voll. Piovan Editore, Abano Terme 1989, vol. 2, pp. 319-322.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1913b), "Lo spazio e il tempo". Tr. it. in *Pensieri ultimi*, in *Opere epistemologiche*, 2 voll. Piovan Editore, Abano Terme 1989, vol. 2, pp. 319-322.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1928-1956), *Oeuvres de Henri Poincaré*, 11 voll. Gauthier-Villars et Fils, Paris.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1952), "Rapport sur la proposition d'unification des jours astronomique et civil". In *Oeuvres*, vol. 8, pp. 642-647.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1953-1954), "Les limites de la loi de Newton". In *Bulletin Astronomique*, 17, pp. 121-178, 181-269.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1982), *The Foundations of Science* [1913], tr. ingl. di George Bruce Halsted (con prefazione di Poincaré e introduzione di Josiah Royce). University Press of America, Washington.

- POINCARÉ, JULES-HENRI (1993), *New Methods of Celestial Mechanics* (History of Modern Physics and Astronomy, 13), a cura di Daniel I. Goroff. American Institute of Physics, Boston.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1997), *Trois suppléments sur la découverte des fonctions fuchsienues. Three Supplementary Essays on the Discovery of Fuchsian Functions. Une édition critique des manuscrits avec une introduction. A Critical Edition of the Original Manuscripts with an Introductory Essay*, a cura di J.J. Gray e S.A. Walter, Akademie Verlag, Berlin - Albert Blachard, Paris.
- POINCARÉ, JULES-HENRI (1999), *La correspondance entre Henri Poincaré et Gösta Mittag-Leffler. Avec en annexes les lettres échangées par Poincaré avec Fredholm, Gylden et Phragmén. Présentée et annotée par Philippe Nabonnand*. Birkhäuser, Basel.
- POINCARÉ, JULES-HENRI, DARBOUX JEAN, APPELL PAUL (1908), *Affaire Dreyfus. La Révision du procès de Rennes, Enquête de la Chambre Criminelle de la Cour de Cassation*, vol. 3. Ligue Française pour la défense des droits de l'homme et du citoyen, Paris, pp. 499-600.
- PRESCOTT, GEORGE B. (1866), *History, Theory, and Practice of the Electric Telegraph*. Cambridge University Press, Cambridge 1972.
- Proceedings of the General Time Convention*, Chicago, October 11, 1883. National Railway Publication Company, New York 1883.
- Proceedings of the Southern Railway Time Convention*, New York, October 17, 1883.
- PYENSON, LEWIS (1985), *The Young Einstein. The Advent of Relativity*. Adam Hilger, Bristol-Boston,
- QUINE, WILLARD VAN ORMAN (1990), *Dear Carnap, Bear Van: The Quine-Carnap Correspondence and Related Work*. University of California Press, Berkeley.
- RAYET, G. LIEUTENANT SALATS (1890), "Détermination de la longitude de l'observatoire de Bordeaux". In *Annales du Bureau des Longitudes*, 4.
- RENN, JÜRGEN, SCHULMANN, ROBERT (1992) (a cura di), *Albert Einstein - Mileva Marić. Lettere d'amore*. Tr. it. Boringhieri, Torino 1993.
- RENN, JÜRGEN (1997), "Einstein controversy with Drude and the origin of statistical mechanics: a new glimpse from the 'Love Letters'". In *Archive for History of Exact Sciences*, 51, pp. 315-354.
- "Report to the Board of Visitors, Nov. 4, 1864". In *Astronomical observations made at the Royal Observatory in Edinburgh*, 13 (1871), pp. R12-R20.
- "Report of the Committee on Standard Time, May 1879" [Dicembre 1878-Dicembre 1879]. In *Proceedings of the American Metrological Society*, 2 (1882), pp. 17-44.
- "Report of the Committee on Standard Time" [Maggio 1882-Dicembre 1882]. In *Proceedings of the American Metrological Society*, 3 (1883), pp. 27-30.
- "Report of the Director to the Visiting Committee of the Observatory of Harvard University". In *Annals of Astronomical Observatory of Harvard College*, vol. 1.
- Report of the Superintendent of the Coast Survey, Showing the Progress of the Survey During the Year 1860* (resp. 1861, 63, 64, 65, 67, 70, 74). U.S. Government Printing Office Washington, 1861 (resp. 1862, 64, 66, 67, 69, 73, 77).
- ROLLET, LAURENT (1999), *Henri Poincaré. Des Mathématiques à la Philosophie. Étude du parcours intellectuel, social et politique d'un mathématicien au début du siècle*, dissertazione di dottorato inedita, Università di Nancy.
- ROTHÉ, EDMOND (1913), *Les applications de la Télégraphie sans fil: traité pratique pour la réception des signaux horaires*. Berger-Levrault, Paris.
- ROUSSEL, JOSEPH (1922), *Le premier livre de l'amateur de T.S.F* Vuibert, Paris.
- ROY, MAURICE, DUGAS, RENE (1954), "Henri Poincaré, Ingénieur des Mines". In *Annales des Mines*, 193, pp. 8-23.
- RYNASIEWICZ, ROBERT (1995), "By their properties, causes and effects: Newton's Scholium on Time, Space, Place and Motion. Part I: The Text; Part II: The Context". In *Studies in History and Philosophy of Science*, 26, pp. 133-153, 295-321.
- SARRAUTON, HENRI DE (1897), *L'heure décimale et la division de la circonférence*. E. Bernard, Paris.

- SCHAFFER, SIMON (1992), "Late Victorian metrology and its instrumentation: a manufactory of Ohms". In BUD, ROBERT, COZZENS, SUSAN E. (a cura di), *Invisible Connections. Instruments, Institutions, and Science*. Spie Optical Engineering Press, Washington, pp. 23-56.
- SCHAFFER, SIMON (1997), "Metrology, metrication and Victorian values". In LIGHTMAN, BERNARD (a cura di), *Victorian Science in Context*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 438-474.
- SCHANZE, OSCAR (1903), *Das schweizerische Patentrecht und die zwischen dem Deutschen Reiche und der Schweiz geltenden patentrechtlichen Sonderbestimmungen*. Harry Buschmann, Leipzig.
- SCHIAVON, MARTINA, "Savants officiers du Dépôt général de la Guerre (puis Service Géographique de l'Armée). Deux missions scientifiques de mesure d'arc de méridien de Quito (1901-1906)". In *Revue Scientifique et Technique de la Défense*, in corso di pubblicazione.
- SCHILPP, ARTHUR PAUL (1949) (a cura di), *Albert Einstein scienziato e filosofo*. Boringhieri, Torino 1958.
- SCHILPP, ARTHUR PAUL (1963), *La filosofia di Rudolf Carnap*, 2 voll, il Saggiatore, Milano 1974.
- SCHLICK, MORITZ (1936), "Significato e verificaione". Tr. it. in *Il Neoempirismo*, a cura di A. Pasquinelli, UTET, Torino 1969, pp. 323-358.
- SCHLICK, MORITZ (1987), *The Problems of Philosophy in Their Inter-connection. Winter Semester Lectures, 1933-34*, a cura di Henk L. Mulder, AJ. Kox e Rainer Hegselmann. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht-Boston.
- SCHMIDGEN, HENNING (2003), "Time and Noise: the stable surroundings of Reaction Experiments, 1860-1890". In *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 34, pp. 237-275.
- SEELIG, CARL (1956) (a cura di), *Helle Zeit - Dunkle Zeit. Jugend-Freundschaft-Welt der Atome. In Memoriam Albert Einstein*. Europa Verlag, Zürich.
- Septième conférence géodésique internationale*. Imprimerie Royale D. Ripamonti, Roma 1883.
- SHAW, ROBERT B. (1978), *A History of Railroad Accidents. Safety, Pre-cautions, and Operating Practices*. Vail-Ballou Press, Binghamton.
- SHERMAN, STUART (1996), *Telling Time. Clocks, Diaries, and English Diurnal Form, 1660-1785*. The University of Chicago Press, London, Chicago.
- SHINN, TERRY (1980), *Savoir scientifique et pouvoir social. L'École Polytechnique*. Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, Paris.
- SHINN, TERRY (1989), "Progress and Paradoxes in French Science and Technology 1900-1930". In *Social Science Information*, 28, pp. 659-683.
- SMITH CROSBIE, WISE, NORTON M. (1989), *Energy and Empire. A Biographical Study of Lord Kelvin*. Cambridge University Press, Cambridge.
- SOBEL, DAVA (1995), *Longitudine*. Tr. it. Rizzoli, Milano 1996.
- STALEY, RICHARD (2002), "Travelling Light". In BOURGUET, MARIE-NOËLLE, LICOPPE, CHRISTIAN, SIBUM, OTTO H. (a cura di), *Instruments, Travel and Science*. Routledge, New York.
- STEPHENS, CARLENE E. (1987), "Partners in Time: Williams Bond & Son of Boston and the Harvard College Observatory". In *Harvard Library Bulletin*, 35, pp. 351-384.
- STEPHENS, CARLENE E. (1989), "The Most Reliable Time': William Bond, the New England Railroads, and Time Awareness in the 19th-Century America". In *Technology and Culture*, 30, pp. 1-24.
- TAYLOR, EDWIN, WHEELER, JOHN (1966), *Fisica dello spazio-tempo*. Tr. it. Zanichelli, Bologna 1996.
- URNER, KLAUS (1980), "Vom Polytechnikum zur Eidgenössischen Technischen Hochschule: Die ersten hundert Jahre 1855-1955 im Überblick". In *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Festschrift zum 125 jährigen Bestehen (1855-1980)*. Verlag Neue Zürcher Zeitung, Zürich, pp. 17-59.
- WALTER, SCOTT (1999), "The non-Euclidean Style of Minkowskian Relativity". In GRAY, JEREMY (a cura di), *The Symbolic Universe*. Oxford University Press, Oxford.
- WARWICK, ANDREW (1991-1992), "On the role of the FitzGerald-Lorentz Contraction Hypothesis

- in the development of Joseph Larmor's Electronic Theory of Matter". In *Archive for History of Exact Sciences*, 43, pp. 29-91.
- WARWICK, ANDREW (1992-1993), "Cambridge Mathematics and Cavendish Physics: Cunningham, Campbell and Einstein Relativity 1905-1911. Part I: The Uses of Theory". In *Studies in History and Philosophy of Science*, 23, pp. 625-656; "Part II: Comparing Traditions in Cambridge Physics". In *Studies in History and Philosophy of Science*, 24, pp. 1-25.
- WEBER, R.FAVRE,L. (1897), "Matthäus Hipp, 1813-1893". In *Bulletin de la société des sciences naturelles de Neuchâtel*, 24, pp. 1-30.
- WELCH, KENNETH E (1972), *Time Measurement. An Introductory History*. Redwood Press Limited Trowbridge Wiltshire, Baskerville.
- WHITTAKER, EDMUND (1953), *A History of the Theories of Aether and electricity*, 2 voll., [Nelson, London-New York, 1951], ristampa American Institute of Physics, New York & Tomash, S. Francisco 1987.
- WISE, NORTON M. (1988), "Mediating Machines". In *Science in Con-text*, 2, pp. 77-113.
- WISE, NORTON M. (1995) (a cura di), *The Values of Precision*. Princeton University Press, Princeton.
- WISE, NORTON M., BROCK, DAVID C. (1998), "The Culture of Quantum Chaos". In *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 29, pp. 369-389.